ȘTIINȚA ȘI TEHNICA PENTRU TOȚI

SERIA AGRICULTURĂ

LUCIAN ATANASIU
LIUBOVI ȚIPA

VALORIFICAREA PRODUȘILOR FOTOSINTEZEI



BIOMASA

Hidroliza → Zahar → Fermentatie → Etanol

Piroliza → Gaz de sinteza → Sinteza metanolului → Metanol

Hidrogenare → Gudron de petrol → Rafinare → Hidrocarburi

Formarea biogazului → Biogaz → Sinteza metanolului → Metanol

Extractie → Rafinare → Hidrocarburi

Colecția „Știința și tehnica pentru toți"
Seria „Agricultură"

AL/31
L 85

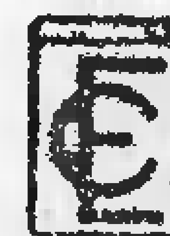
Colecția „ȘTIINȚA ȘI TEHNICA PENTRU TOȚI"
Seria „Agricultură"
Apare sub egida
CONSILIULUI NAȚIONAL AL FRONTULUI DEMOCRAȚIEI ȘI UNITĂȚII SOCIALISTE

Conf. dr. LUCIAN ATANASIU • Dr. LIUBOVI ȚIPA

Lia și Sorin
7.03.88
Constanța

VALORIFICAREA PRODUȘILOR FOTOSINTEZEI

(Energie şi materii prime din biomasă)



EDITURA CERES
Bucureşti, 1988

LUCRĂRI RECENT APĂRUTE ÎN CADRUL COLECȚIEI „ȘTIINȚA ȘI TEHNICA PENTRU TOȚI" — SERIA „AGRICULTURĂ"

Petrescu Florin	— *Garduri Vii*
Roventa Ion	— *Saschiul mic (Vinca minor) o valoroasă plantă medicinal-ornamentală*
Căzănaru Alexandru	— *Cultura ricinului*
Measnicov Mihai	— *Protejarea mediului înconjurător prin combaterea eroziunii solului*

LUCRĂRI ÎN CURS DE APARIȚIE

Ghizdavu Nicolae	— *Feromonii în combaterea insectelor dăunătoare*

INTRODUCERE

Fotosinteza reprezintă procesul prin care plantele verzi utilizează energia luminii solare pentru a sintetiza compuși chimici ce contribuie la creșterea plantelor și alcătuiesc corpul plantelor, adică ceea ce numim biomasa sau mai corect fitomasa. Acești compuși procură atît elementele de construcție, cît și sursa de energie necesare creșterii și dezvoltării tuturor viețuitoarelor de pe planeta noastră : plante, animale și oameni.

Incontestabil că aplicația originală a fotosintezei sau „vocația umană" a acestui proces a fost și a rămas agricultura, adică hrana și toate foloasele, pe care, din cele mai vechi timpuri, oamenii le-au avut de la plante : îmbrăcăminte, adăpost și căldură.

Pe lîngă această aplicație originală a fotosintezei, a apărut, în ultimul deceniu, și ideea exploatării acesteia în scopuri energetice, adică folosirea biomasei vegetale pentru a furniza combustibili, cum sînt alcoolul, metanul, hidrogenul sau hidrocarburile, necesare diferitelor industrii.

Această idee a fost generată de penuria rezervelor de energie de origine „fosilă" (petrolul, cărbunii), apărută o dată cu criza din 1973—1974, care a provocat, în țările dezvoltate, un interes crescut pentru reînnoirea surselor de energie. Printre acestea figu-

rează, în primele rînduri, biomasa reprezentată de organismele vegetale (fitomasa), derivatele lor și diferiții produși de origine animală.

Abordarea fotosintezei ca sursă „alternativă" de energie pentru scopuri tehnologice urmărește două căi principale.

Prima cale derivă din agricultură și silvicultură. Aceasta, privește valorificarea biomasei obținute în urma fotosintezei și a creșterii plantelor cultivate, special sau nu, în acest scop. Este o cale de valorificare indirectă a bioconversiei și tehnic realizabilă în contextul actual. Grație progreselor recente ale biotehnologiei și ingineriei genetice se poate spera, în prezent, la utilizarea și valorificarea biomasei vegetale pentru producerea de substanțe cu proprietăți combustibile. Amidonul, celuloza din plante pot fi convertite, prin fermentație, în prezența microorganismelor, într-o varietate de produși, cum sînt alcoolii, metanul, hidrogenul, hidrocarburile etc.

Toate viețuitoarele, deci și plantele, nu reprezintă decît o formă particulară a unui compus foarte elementar : carbonul redus, rezultat, în mare, din combinarea dioxidului de carbon cu apa. Acest compus constituie baza biomasei și se regăsește și în combustibilii „fosili" (petrol, cărbune). În consecință, utilizarea biomasei, bineînțeles cu anumite condiții și precauții, poate oferi o șansă pentru acoperirea parțială a necesarului de energie al omenirii, în condițiile actuale.

A doua cale de abordare a fotosintezei, ca sursă de energie, se referă la încercarea de a imita parțial sau integral sistemele naturale fotosintetice (biomimetică). Această cale reprezintă o soluție de viitor și implică numeroase cercetări fundamentale asupra

mecanismului fotosintezei, lacunar încă în multe privințe. Se cercetează în cîteva laboratoare din lume, inclusiv în țara noastră, realizarea de celule fotogalvanice cu pigmenți fotosintetici sau producerea de hidrogen pe cale fotosintetică. Unele rezultate sînt încurajatoare, dar dificultățile sînt încă destul de mari. În acest caz este vorba de o bioconversie directă, care pînă ce va putea fi exploatată, reclamă încă mult timp.

În această lucrare vom prezenta numai cîteva din direcțiile de valorificare a fotosintezei ca sursă naturală de bioconversie a energiei solare, cuprinse în special în prima cale amintită, deși cîteva aspecte incluse în cea de a doua cale vor fi, de asemenea, descrise pe scurt.

Se consideră, în general, că aportul biomasei vegetale, adică al produselor și subproduselor rezultate din agricultură și silvicultură, ar putea satisface în parte, bineînțeles, cîte ceva din necesitățile energetice ale lumii și că, altfel spus, o „fitochimie" s-ar putea alătura sau substitui petrochimiei.

În țara noastră, programul cercetării științifice, dezvoltării tehnologice și progresului tehnic în deceniul 1981—1990 și în perspectivă pînă în anul 2000 este de o amploare fără precedent.

În domeniul energiei sînt stabilite sarcinile de bază privind descoperirea și valorificarea de noi resurse energetice. Printre acestea „o deosebită atenție se va acorda cercetărilor privind transformarea pe cale biologică a dioxidului de carbon și a biomasei în combustibil. Se va dezvolta cercetarea biologică fundamentală pentru creșterea randamentelor de conversie în biogaz a deșeurilor organice".

Vor fi pregătite condițiile pentru aplicarea largă a tehnologiilor biologice care se realizează cu con-

sumuri reduse de energie, inclusiv a tehnologiilor de bioconversie, pe baza modelării proceselor bioenergetice din celula vie.

În raportul la cel de al XIII-lea Congres al Partidului Comunist Român, secretarul general al partidului, tovarășul Nicolae Ceaușescu arăta necesitatea dezvoltării în cel de al VIII-lea plan cincinal, cu prioritate a bazei energetice și de materii prime, „condiția hotărîtoare pentru progresul întregii economii naționale" și sublinia că „o atenție deosebită va fi acordată noilor surse de energie, biomasei, energiei vîntului, energiei solare etc.". Evident, importanța ce trebuie acordată biomasei energetice este considerabilă avînd în vedere că uriașele cantități de reziduuri din industria alimentară, zootehnie, dar mai ales subprodusele din agricultură, silvicultură, pot fi reintroduse în circuitul economic.

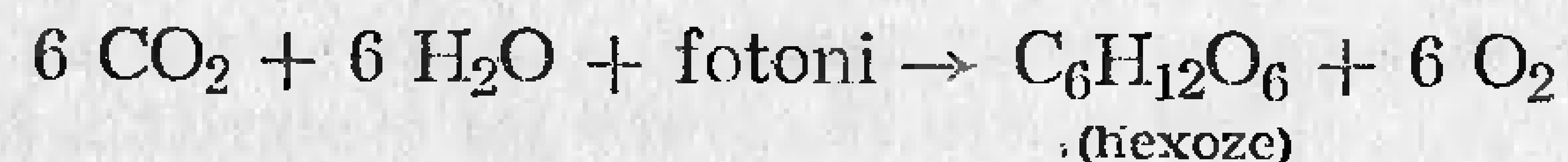
Biomasa reprezintă sursa de energie solară cea mai rapid disponibilă. Dar aceasta nu înseamnă că este și cel mai lesne de pus la „lucru". Există o mare distanță între considerațiile teoretice și practică. Pentru a folosi biomasa vegetalelor ca sursă de energie sînt necesare tehnologii complexe, eficace și rentabile. Avîntul biotehnologiilor, luat în aceste ultime decenii ale secolului nostru, constituie un atu major pentru dezvoltarea filierelor solare, dar problemele legate de obținerea biomasei vegetale și de procurarea de materiale și substanțe chimice din plante sînt încă multiple și nu lipsite de dificultăți.

Deși pînă în prezent, exploatarea de către oameni a unei surse de energie atît de puternice și gratuite ca cea solară a fost foarte limitată, crizele grave de energie și alimente au provocat în majoritatea țărilor avansate o reacție foarte pozitivă, în sensul stimulării la maximum a cercetărilor legate de cunoașterea mecanismului fotosintezei și de un profit mai bun de pe urma acestui proces. Nu este exagerat să afirmăm că energia solară radiantă „via" fotosinteza, a fost și este izvorul universal de viață, ordine și progres. Fotosinteza constituie azi unul din domeniile cele mai dinamice și fascinante ale științei și merită interes prioritar, nu numai pentru că reprezintă forța care întreține toate procesele metabolice din biosferă constituind sursa principală de hrană și energie pentru viața omului, ci și pentru că aproape toată energia pe care o utilizează omenirea (casnic și industrial) sub formă de cărbune, petrol, gaze naturale este de origine biologică.

În principiu este posibilă eliberarea, în parte, a energiei radiațiilor solare legate de către plante prin fotosinteză. Cîteva din căile și posibilitățile de realizare a acestui obiectiv încercăm să le prezentăm, pe scurt, în lucrarea de față.

BIOMASA ȘI ENERGIA

Frunzele plantelor, aceste veritabile uzine silențioase, constituie locul unde are loc conversia energiei solare în energie chimică potențială, acumulată în masa vegetală sau mai pe scurt, fotosinteza. De la două substanțe simple și sărace în energie, apa și dioxidul de carbon, în prezența pigmenților verzi din celulele asimilatoare ale frunzelor și a energiei părții vizibile a radiațiilor solare, are loc scindarea moleculelor de apă cu eliberarea de protoni (H^+), electroni (e^-) și oxigen. Protonii și electronii sînt transferați către o proteină cu fier și sulf, capabilă de a reduce dioxidul de carbon la molecule de glucide (hexoze) mai complexe și bogate în energie. Aceste reacții, însoțite și de o degajare de oxigen molecular, pot fi reprezentate prin ecuația generală :



$$6\,CO_2 + 6\,H_2O + \text{fotoni} \rightarrow \underset{\text{(hexoze)}}{C_6H_{12}O_6} + 6\,O_2$$

De la glucidele formate se elaborează toate celelalte molecule necesare pentru alcătuirea structurilor plantei adulte și creșterea ei. Ansamblul acestei materii organice acumulate în plantă formează biomasa sau fitomasa, formare condiționată de prezența favorabilă a factorilor de mediu, temperatură, apă și elemente minerale.

La plantele superioare și alge, radiațiile utilizate pentru realizarea fotosintezei se numesc radiații fotosintetic active și au lungimi de undă cuprinse între 400 și 700 nm, adică cu un conținut energetic de 70—40 Kcal per einstein. Plantele folosesc pentru fotosinteză doar 40% din energia pe care o primesc, pentru că 50% din ea cade în regiunea infraroșie a spectrului și nu poate fi absorbită de pigmenții asimilatori, iar ceea ce rămîne se pierde prin reflexie, transmisie și absorbție de către frunze. Deși randamentul teoretic maxim al asimilației fotosintetice a carbonului, în funcție de lumina absorbită, este de ordinul a 33%, dacă se ține seama de faptul că energia solară are maximul de bogăție energetică la 575 nm și că pierderile prin respirație ating aproape 40%, rezultă că randamentul global al procesului, în funcție de lumina primită, este de 5%. Această valoare se atinge în condiții optime de cîmp și în perioade scurte de creștere, dar media anuală este și mai mică și depinde, de asemenea, de caracterul temperat sau tropical al climei. Se poate conchide că, în medie, eficiența reală a fotosintezei este de 0,5 pînă la 3% și că regnul vegetal utilizează doar 0,1% din energia solară.

Randamentul conversiei culturilor terestre, în timpul anului, este inferior lui 1%, ceea ce corespunde teoretic, în absența stressului hidric, la cca 30—35 tone substanță uscată. Cu toate că fotosinteza convertește în hrană numai o mică parte din energia solară (sub 1%) ea este suficientă pentru a întreține viața întregii planete și a acoperi nevoile energetice ale omenirii.

Cea mai vastă experiență în folosirea energiei solare o au plantele. Covorul vegetal al pămîntului reprezintă în jur de 1 800 de miliarde de tone de substanță uscată, ceea ce echivalează la un conținut în energie de $30 \cdot 10^{21}$ J, comparabil cu rezervele dovedite în formele „fosile“ de energie (petrol, cărbune). Pădurile constituie aproximativ 68% din biomasa pămîntului, ecosistemele ierboase în jur de 16%, iar solurile cultivate numai 8%. În 1979 s-a calculat pe ansamblul Terrei producerea a 173 de miliarde de tone de substanță uscată prin fotosinteză; aceasta reprezintă din punct de vedere energetic $3 \cdot 10^{21}$ J, adică mai mult de 20 de ori energia „fosilă“ consumată în lume în același an, sau mai mult de 200 de ori energia inclusă în alimentația celor peste 4 miliarde de locuitori ai planetei.

Pe ansamblu, conversia energiei solare de către regnul vegetal în raport cu consumul industrial și cu producția agricolă arată următoarele:

Energia solară care ajunge la biosferă este de aproximativ 10^{17} W.

Energia fixată de regnul vegetal — 10^{14} W.

Energia consumată de industrie — 10^{13} W.

Energia produsă de agricultură — $0,5 \cdot 10^{12}$ W.

Deși regnul vegetal convertește neîncetat o fracție relativ mică (sub 1%) din energia radiantă solară, totuși 10^{14} W din 10^{17} W reprezintă, cantitativ, o valoare însemnată.

Această energie convertită în energie chimică aprovizionează apoi în lanț toată lumea vie. Din cele prezentate, reiese că energia solară fixată de regnul vegetal echivalează de 10 ori pe cea pe care o cheltuiește lumea modernă sub formă de energie (10^{13} W) și de 200 de ori pe cea pe care, în prezent, o produce

agricultura întregului glob ($0,5 \cdot 10^{12}$ W) și o consumă omenirea sub formă de alimente.

Acest potențial energetic considerabil al biomasei justifică ideea exploatării ei în scopuri tehnologice. Unii cercetători, mai pesimiști, consideră că influența biomasei asupra necesarului de energie ar fi minimă. Alții, mai optimiști, apreciază că în prezent biomasa contribuie la furnizarea a 2% din consumul anual de energie al omenirii, ceea ce pare puțin, dar acest procent reprezintă totuși 246 milioane barili petrol pe an, ceea ce nu este de neglijat. Tot în 1979, s-a calculat că 1/7 din energia consumată în lume a provenit din biomasă, adică echivalentul a 3 milioane tone petrol pe zi.

Studii mai recente apreciază că spre anul 2000 biomasa va furniza pînă la 7—10% din energia folosită anual.

Consumul de energie pe cap de locuitor a crescut din epoca culturii primitive și pînă în prezent de 116 ori în statele puternic industrializate; la fel, dar în alte proporții, a crescut folosirea energiei pentru alte necesități. Necesarul de energie se dublează în lume o dată la 10 ani, ceea ce înseamnă că în viitorul apropiat consumul de energie nu mai trebuie și nici nu mai poate să crească. Cu circa 200 de ani în urmă, necesarul de energie se acoperea integral din masa lemnoasă a plantelor, care astăzi este folosită abia în proporție de 10%. Peste 90% din consum se acoperă în prezent din resurse energetice de origine fosilă (petrol, cărbune, gaze naturale) care sînt în curs de epuizare. În acest context se analizează găsirea de resurse alternative de energie, biomasa ocupînd între acestea un loc prioritar. Dar în acest scop biomasa trebuie produsă și procurată în cantitate cît mai mare.

SURSE DE BIOMASĂ

Trei categorii de plante ar putea juca un rol energetic important în calitate de sursă de biomasă.

PLANTE LEMNOASE (LIGNOCELULOZICE)

În această categorie intră speciile forestiere cu creștere rapidă (5 la 20 de ani) și cu radament ridicat de producție (8—12 tone de substanță uscată/ha/an).

Se examinează în prezent, în cadrul modalităților de cercetare a silviculturii optimale, selecția unor esențe lemnoase adaptate la acest tip de producție. Copacii prezintă avantajul că pot crește bine și pe soluri neirigate, totuși în concurența lor cu alte specii producătoare de biomasă, raportat la greutate și la hectar, arborii nu sînt cei mai puternici candidați. De aceea, în țările cu un bogat patrimoniu forestier cum sînt Suedia, S.U.A., Canada, Brazilia, Australia, s-a pus problema împăduririi cu esențe cu creștere rapidă, care să procure o biomasă capabilă să poată fi utilizată în scopuri energetice.

Arbori ca paltinul de munte sau sicomorul *(Acer pseudoplatanus)*, plopul *(Populus* sp.) și pinul *(Pinus* sp.) au prezentat interes în culturi intensive sau plantații destinate exclusiv producerii de energie. S-a calculat că pentru obținerea a 3 Mtep (milioane tone echivalent de petrol) cu ajutorul acestor plantații, în 20 de ani, ar trebui mobilizate 1 milion ha de teren de bună calitate.

Pornind de la lemn sau de la alți produși lemnoși se ajunge prin gazeificare completă la metanol, randamentul energetic al transformării fiind destul de bun (70%). Metanolul obținut din esențe lemnoase sau deșeuri ale pădurii poate fi utilizat drept carburant auto. În California putea fi văzută, în anii trecuți, o mașină mergînd cu metanol extras din coji de arahide, așchii de lemn sau din paiele de orez.

Producerea metanolului interesează mai ales țările forestiere. În Canada, un raport apărut în 1977 și redactat de o echipă de economiști imagina o producție importantă, legată de o exploatare mai rațională a pădurilor. În S.U.A., deșeurile pădurii reprezintă în fiecare an, mai mult de 100 milioane tone. După exemplul industriei forestiere suedeze s-a arătat că industria americană ar putea tinde, printr-o utilizare rațională a deșeurilor sale, către o autosatisfacere a nevoilor energetice. La deșeurile propriu-zise se adaugă copacii bolnavi și diferite esențe necomercializate. Arborii cu creștere rapidă sînt luați în considerație pe plantații special amenajate. Astfel, o plantație de sicomori, realizată la Universitatea din Georgia, a dovedit că acest arbore ar putea furniza cca 6 tone de vegetație/ha/an. Tehnicile de hibridare și de manipulare genetică ar putea duce la dublarea randamentului. Eucaliptul prezintă calitatea de a crește pe terenuri sărace, avînd o creștere

rapidă (20 tone/ha/an) și un randament energetic foarte avantajos : 2,4 kg eucalipt pot da 1 kg metanol. Astfel, Brazilia s-a lansat într-un program de reîmpădurire cu eucalipt a 400 000 ha în scopul obținerii cărbunelui de lemn și secundar a metanolului. Se preconizează producerea a 40 milioane tone de metanol/an, pornindu-se de la plantații de eucalipt pe scară mare. Australia și Gabonul au proiecte asemănătoare.

Plopul, de asemenea, a făcut obiectul unor studii în Pensilvania. S-a pus la punct un hibrid acomodat la terenuri sărace capabil să dea 40 milioane BTU/ha/an. Costul unui milion BTU rămîne totuși superior petrolului și cărbunelui. BTU (British Thermal Unit) este unitatea termică britanică echivalentă cu 0,252 Kcal.

În Franța, unde anual sînt extrase 30 milioane steri din pădure și 40 milioane m^3 de deșeuri sînt folosite sub formă de căldură în fabricile de cherestea, rămîn aproape 10 milioane m^3 nevalorificate. 80% din acestea ar putea furniza energie sub formă de metanol.

În România, care dispune de un fond forestier ce ocupă ca suprafață locul 9 în Europa, iar ca productivitate locul 2, s-a pus, de asemenea, problema utilizării în scopuri energetice a unor plantații de esențe lemnoase cu creștere rapidă, cum este de pildă plopul. În această direcție se înscriu și cercetările efectuate la Stațiunea Experimentală Cornetu din cadrul Institutului de Cercetări și Amenajări Silvice, de pe lîngă Departamentul Silviculturii. Astfel, pe diferite clone de plop cu cicluri scurte de producție provenite din colecția stațiunii *(Populus deltoides)* s-au determinat fotosinteza, cantitatea de clorofilă și acumularea de biomasă în decursul perioadei de

vegetație, în anii 1981 și 1982, în scopul depistării clonelor celor mai indicate pentru culturi intensive și producerea de biomasă care să fie apoi folosită la obținerea metanolului (Atanasiu L., Voica C., Popescu I., Benea V.). Mărirea producției de masă lemnoasă se poate realiza și prin intensificarea tăierilor de îngrijire, ridicarea productivității pe suprafață, crearea de plantații cu structuri și densități optime, folosirea deșeurilor menajere ca îngrășămînt, reducerea vînatului și, nu în ultimul rînd, prin manipularea genetică.

PLANTE IERBOASE ALCOOLIGENE

În cadrul plantelor ierboase se deosebesc speciile alcooligene (cerealele, cartoful, topinamburul ș.a.). Denumirea și-o datorează conținutului în glucide (amidon, zaharoză) ușor hidrolizabile care prin fermentație sînt transformate în etanol. Astfel, etanolul, obținut de la trestia de zahăr și manioc, amestecat în proporție de 20% cu benzina este utilizat drept carburant. În Brazilia, se prevedea un program Proalcool inclus într-un plan național, care viza producerea în anul 1985 a 110 milioane de hectolitri etanol. Acest program ambițios este posibil datorită marii disponibilități de terenuri a acestei țări și a posibilității de utilizare a deșeurilor lemnoase, de care dispune Brazilia, drept combustibil pentru distilare.

Încă din 1930, în S.U.A. s-a studiat rentabilitatea obținerii etanolului din cereale, iar în Franța, la sfîrșitul războiului se punea problema producerii lui în

cantitate mare din diferite plante, pentru a acoperi lipsa de petrol.

În general, etanolul nu mai prezintă astăzi interes decît în țările producătoare de trestie de zahăr *(Saccharum officinarum)*. Mulți ecologi au fost surprinși de amploarea programului brazilian — lansat în 1975 — și de faptul că s-a instituit obligativitatea folosirii amestecului benzină-alcool (gazohol), care este mai puțin poluant, drept carburant la automobile. Dincolo de amestecul actual alcool-benzină, se urmărește creșterea proporției de alcool pînă la substituirea completă a benzinei (constructorii de automobile fiind încurajați să propună motoare cu 100% alcool). După unii experți programul nu ar fi asigurat economic. Se consideră că energia consumată pentru distilare ar fi superioară celeia pe care o furnizează alcoolul. Dar impedimentul și mai grav ar fi imobilizarea unor prea mari întinderi de pămînt fertil și sacrificarea unei părți importante din recolta de trestie de zahăr. Brazilia tinde să elimine acest inconvenient folosind plante ca maniocul, care se adaptează la terenurile sărace și este mai ușor de stocat după recoltare.

În Australia, altă țară lansată în programul de alcool, chimiștii de la Universitatea din Queensland efectuează cercetări intense în microbiologie, pentru ameliorarea randamentului conversiei zahăr-alcool.

Statele Unite ale Americii, excedentare în cereale, în special în porumb, își permit obținerea a 95 de milioane de hectolitri de etanol cu o producție paralelă de proteine pentru hrana animalelor.

În Franța, numeroase plante au un anumit potențial în producerea de etanol : sfecla de zahăr *(Beta*

vulgaris saccharifera), (41 hl/ha), topinamburul *(Helianthus tuberosus)*, (42 hl/ha), sorgul dulce *(Sorghum saccharatum)* (36 hl/ha), sfecla furajeră *(B. vulgaris)* (60 ha/ha). Cercetările în curs urmăresc ameliorarea randamentului la aceste specii în scopul optimizării bilanțurilor energetice și economice.

PLANTE ACVATICE

Sursele acvatice de biomasă sînt, de asemenea, candidate promițătoare. Aceste plante, care nu cunosc stressul hidric, reclamă, în schimb, cerințe nutritive ridicate, în special în elemente minerale. Potențialul lor de producție este superior, dar puțin cunoscut, iar mediul populat de ele este extrem de întins (3/4 din suprafața globului), ceea ce elimină competiția pentru spațiu, care se pune cu mare acuitate în cazul plantelor terestre. În prezent, masa oceanelor și mărilor care acoperă 361 milioane de km^2 este aproape neexploatată din punctul de vedere al producției vegetale.

Programe pe termen lung cu privire la utilizarea plantelor acvatice sînt acum examinate în numeroase țări. Un prim pas în acest scop este studierea plantelor acvatice (alge sau plante superioare) din punct de vedere sistematic, fiziologic și ecologic.

Algele, de exemplu, prezintă o viteză de creștere foarte mare în condiții experimentale iar biomasa lor ar putea candida cu succes la o utilizare energetică deși mai sînt dificultăți în această privință.

Pentru plantele acvatice, principalele căi de cercetare ar putea fi următoarele :

a) Cultura de alge în asociere cu procesele de epurare a apelor uzate. Aceste alge, cultivate în bazine de mică adîncime, ar furniza oxigenul necesar degradării microbiene a substanțelor organice. Pornind de la aceste alge s-ar putea recupera o biomasă convertibilă în energie, de exemplu, în metan, prin fermentație anaerobă.

b) Culturi de alge de mare productivitate, în bazine cu apă dulce sau apă de mare. După recoltare, ele ar putea furniza numeroase forme de compuși energetici (metan, metanol etc.).

c) Culturi de alge în sisteme artificiale, de exemplu, tuburi de plastic prin care circulă apa, recuperînd cu ușurință, la una din extremități, biomasa lor, bogată în proteine cu valoare nutritivă sau convertibilă în energie.

d) Culturi directe în apa de mare a plantelor, cum ar fi algele macroscopice și recoltarea lor în vederea obținerii de substanțe și biomasă.

Dacă se ajunge la rezolvarea problemelor legate de costul ridicat al metodelor de recoltare și fertilizare, cultura intensivă a plantelor acvatice ar putea deveni o cale promițătoare. Pe lîngă biomasa obținută, aceasta ar putea da loc unei producții asociate de proteine.

Pe lîngă aceste tipuri de culturi trebuie adăugată posibilitatea, într-un viitor mai îndepărtat, a obținerii directe a hidrogenului de la diferite varietăți de alge.

De asemenea, plantele superioare acvatice ca zambila de apă *(Eichhornia crassipes)*, lintița *(Lemna minor)* sau salata de apă *(Pistia stratiotes)* pot fi și ele utilizate pentru producerea de biomasă. Într-o plantație experimentală din Louisiana s-au obținut de la zambila de apă 70 000 m^3 metan/an.

Zambila de apă, plantă tropicală, este o buruiană foarte agresivă care colmatează apele populate. Totuși, în epurarea apelor poluate de efluenții urbani sau agroindustriali, această plantă contribuie la depoluare prin acumularea substanțelor nocive în corpul ei. La fel este și cazul salatei de apă *(Pistia stratiotes)*, care își dublează biomasa în 5—6 zile și acumulează metale grele.

Biomasă pentru biogaz, ape curate și nutreț pentru animale, iată cîteva foloase ale plantelor acvatice.

COMBUSTIBILI DIRECT UTILIZABILI

În cazul plantelor lignocelulozice, alcooligene și acvatice are loc transformarea biomasei lor pornindu-se mai întîi de la extragerea și hidroliza substanțelor de rezervă (amidon, celuloză etc.) din corpul lor și apoi trecînd la fermentarea acestora, în metan sau alcooli, cu ajutorul microorganismelor.

Unele plante însă sînt capabile să producă în mod natural combustibili direct utilizabili : hidrogen, hidrocarburi sau uleiuri.

BIOPRODUCȚIA DE HIDROGEN

Hidrogenul este, în special, interesant din cauza puterii sale calorifice ridicate : 120 KJ/gram față de 42 pentru petrol, 38 pentru lipide și 16 pentru glucide, care formează în esență biomasa uscată. Hidrogenul nu se formează însă în mod normal în plantele superioare și nici nu se depozitează în țesuturi, așa cum se întîmplă cu hidrocarburile și uleiurile vegetale.

Producerea fotosintetică a hidrogenului molecular se realizează numai de către bacteriile fotoautotrofe

și cîteva alge unicelulare verzi. Plantele superioare verzi nu produc hidrogen prin fotosinteză în condiții naturale.

Mecanismul fotosintezei cuprinde două etape principale. O etapă fotochimică în care are loc descompunerea apei (fotoliza) care este urmată de o eliberare de hidrogen sub formă de protoni (H^+) și de un transfer de electroni (e^-). Această etapă este însoțită de o degajare de oxigen sub formă moleculară (O_2) și de o sinteză de ATP (adenozintrifosfat). A doua etapă cuprinde reducerea CO_2, cu ajutorul protonilor și ATP-ului format în prima etapă, la nivelul moleculelor de glucide. În cazul producerii hidrogenului însă reacția este orientată spre o altă direcție, grație prezenței în țesuturi a unei enzime numită hidrogenaza. Această enzimă se găsește numai în echipamentul enzimatic al bacteriilor fotoautotrofe și la cîteva alge verzi unicelulare *(Chlorella, Scenedesmus)*. Plantele verzi superioare nu conțin hidrogenază în țesuturile lor asimilatoare. Adăugarea de hidrogenază, extrasă din bacterii, la suspensii de cloroplaste, scoase din celulele asimilatoare din frunze, poate conduce la lumină și, în condiții speciale, la producerea de hidrogen molecular (H_2).

Bioproducția de hidrogen pe cale fotosintetică este cercetată în cîteva laboratoare notabile din lume și în țara noastră, dar problema este luată în considerație numai ca o soluție pe termen lung, deoarece necesită încă cercetări multiple.

BIOPRODUCȚIA DE HIDROCARBURI

Anumite plante produc rășini (coniferele), parfumuri sau latex (arborele de cauciuc, ficușii, euforbiaceele). Aceste produse conțin în compoziția lor

hidrocarburi, care pot înlocui direct petrolul sau derivatele lui, de unde și denumirea dată acestor specii de plante „petrolifere".

La începutul revoluției industriale, hidrocarburile din latexul plantelor interesau pentru obținerea cauciucului natural necesar industriei de automobile, în plină dezvoltare. Deoarece acum cauciucul este produs pe cale sintetică, punctul de vedere s-a schimbat : hidrocarburile din plante interesînd ca sursă de combustibil, petrolul și cărbunele fiind deficitare.

Cercetările întreprinse pe plante cu latex sugerează că, mai ales în zonele aride și precare, există posibilitatea de a le cultiva, ele neintrînd în concurență cu plantele agricole utile pentru hrană și fibre.

În S.U.A. de exemplu, s-au pus multe speranțe în speciile din fam. *Euphorbiaceae.* Aceste plante produc un latex care conține în emulsie molecule de hidrocarburi, poliizopreni. După M. C a l v i n, aceste molecule, odată izolate ar putea fi direct utilizabile în rafinării. Prin 1976 se aprecia un randament de 3—15 barili/ha/an la prețul de 3—10 barilul. Estimări mai recente sînt mai pesimiste : un randament de 2 barili/ha anual, la un preț de 20 $ barilul.

În Franța, de exemplu, se cercetează posibilitatea de adaptare a euforbiaceelor la noi condiții, în vederea producerii de hidrocarburi pentru industria chimică. *Euphorbia characias,* plantă spontană din zona mediteraneană, pare interesantă prin latexul ei care conține 25% cauciuc.

Alga brună *Botryococcus braunii* sintetizează hidrocarburi apropiate de combustibilii grei. Mecanismul de producere a hidrocarburilor la această algă, în culturi de laborator, este în curs de cercetare.

PRODUCEREA DE ULEIURI VEGETALE

Plantele oleaginoase din zona temperată au o slabă productivitate : 1,7 tone de ulei/ha pentru floarea-soarelui (1,5 tep) ; 1 tonă/ha pentru rapiță (0,9 tep). În schimb, în zona tropicală palmierul de ulei are un randament de 5—6 tone ulei/ha (4,5—5,4 tep). În Brazilia planul „Prooleo" se bazează pe uleiurile din palmier în vederea realizării în 1985 a unei producții de 21 milioane tone ulei.

În Franța se experimentează cu *Euphorbia lathiris,* cultivată în regiunea Parisului. Latexul acestei specii este sărac în cauciuc dar bogat în rășină. Se pot produce pînă la 30 chintale de semințe cu un conținut în ulei de pînă la 50%, adică 1,5 tone ulei/ha (1,3 tep).

DE LA BIOMASĂ LA ENERGIE

Biomasa, fie că provine de la plante cultivate, fie de la subproduse din agricultură sau silvicultură, trebuie să fie transformată în vectori de energie-căldură, combustibili sau carburanţi, electricitate. Tehnologiile de transformare a biomasei fac apel la două căi, diferite după starea fizică a materiei vegetale disponibile : a) calea termochimică adaptată biomasei uscate, cum este cazul lemnului şi paielor şi b) calea biochimică adaptată biomasei cu un conţinut bogat în apă. În acest ultim caz este vorba de biomasa plantelor ierboase sau acvatice. Teoretic, cele două căi sînt aplicabile întregii biomase. Totuşi, conversia termochimică, care utilizează căldura pentru transformarea biomasei în forme de energie este esenţial diferită de conversia biologică (bioconversia), care utilizează microorganismele naturale sau manipulate genetic, pentru transformarea biomasei în energie.

Calea termochimică pune în joc reacţii de temperatură în condiţii variabile de oxidare. Cea mai veche filieră termochimică şi cea mai răspîndită este arderea (piroliza), care furnizează căldura ce poate fi transformată, în continuare, în forţă motrice sau electricitate specifică. Altă filieră termochimică este gazeificarea, care transformă biomasa în gaz (monoxid de carbon şi hidrogen). Cînd gazeificarea se face în aerul atmosferic, ea produce un gaz sărac care conţine şi azot, avînd o putere calorifică de 4 000 KJ/m^3. Acest gaz sărac poate fi ars sau transformat în energie mecanică, dar el nu este recomandat în sinteza metanolului din cauza conţinutului său ridicat în azot. Dacă se urmăreşte sinteza acestui alcool, atunci este necesară o gazeificare cu oxigen. Cercetările actuale sînt axate în multe ţări pe optimizarea gazeificării cu oxigen a deşeurilor vegetale în vederea producerii metanolului. Sînt şi alte procedee incluse în conversia termochimică, unele dintre ele foarte noi, cum este gazeificarea la 1 000°C şi în timp scurt (pyrolyse flash), hidrolichefierea (hidrocracarea) biomasei, care conduce la obţinerea de hidrocarburi lichide.

Dar ceea ce a luat un mare avînt în acest domeniu sînt biotehnologiile sau tehnologiile zise „biochimice“ deoarece ele pun la „lucru“ procese microbiologice. Cîteva din aceste bioconversii degradează structurile ligno-celulozice stabile permiţînd fie utilizarea lor alimentară, fie transformarea lor în etanol sau metanol. Avantajele bioconversiei sînt următoarele (comparativ cu procesele tehnologice, bazate pe metode fizice şi chimice) :

— reacţiile decurg la temperaturi nu prea ridicate, nefiind necesară folosirea de presiuni sau vacuum suplimentare ;

— procesele sînt inofensive pentru om şi mediul înconjurător ;

— aparatura nu este complicată, fabricarea ei nu necesită materiale deficitare ;

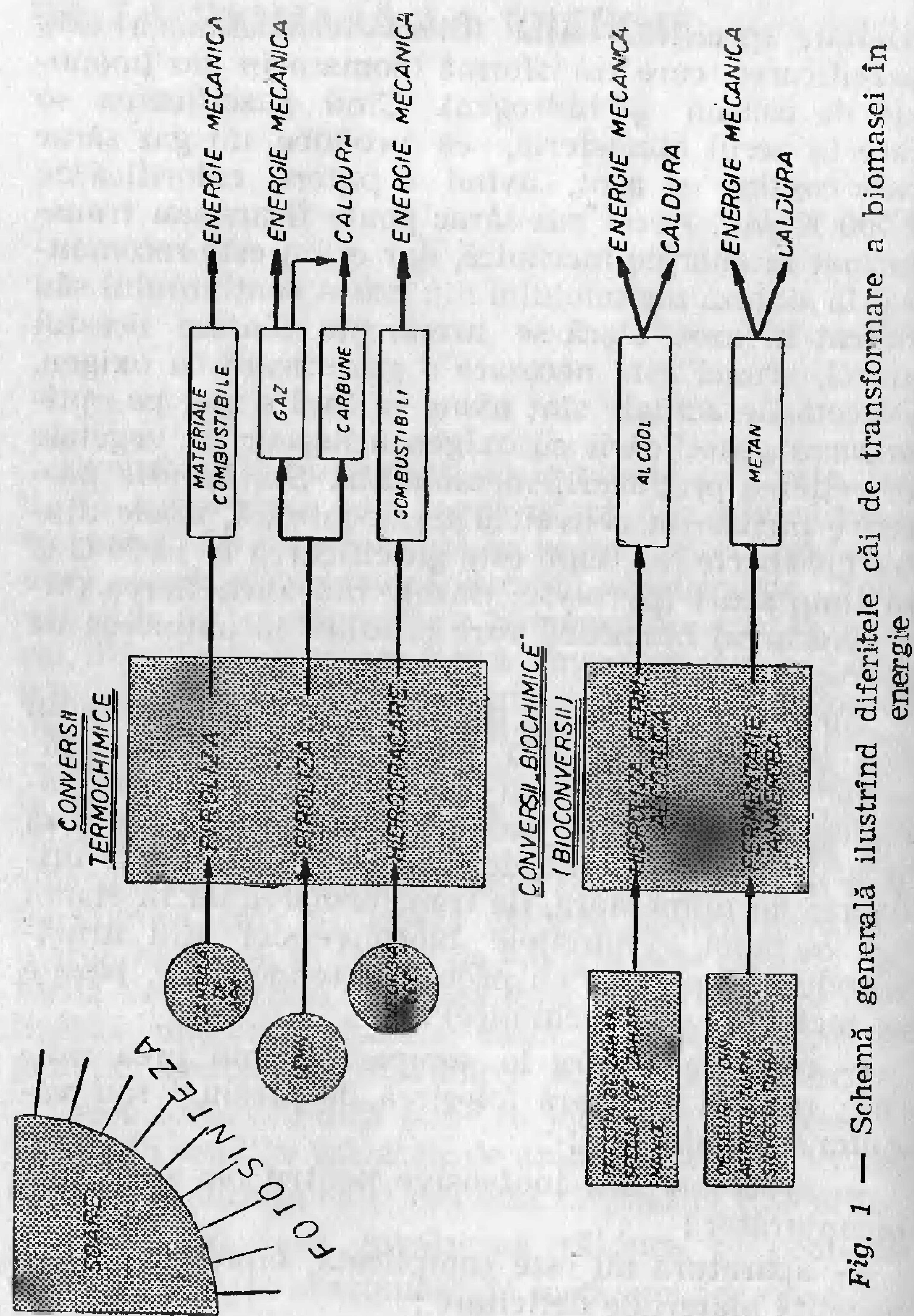


Fig. 1 — Schemă generală ilustrînd diferitele căi de transformare a biomasei în energie

— sînt reduse cheltuielile de energie ;

— bioconversia depinde în mică măsură de condițiile climatice ;

— se asigură continuitatea producției.

Dintre filierele conversiei „biochimice" sau microbiologice amintim fermentația metanică care prezintă un mare interes, mai ales în țările lumii a treia, fermentația alcoolică, degradarea cu ajutorul microorganismelor a celulozei (celuloliza) și a ligninei.

Aceste diferite biotehnologii de transformare a biomasei (fig. 1) sînt în prezent în plină dezvoltare și se prevede producerea cu ajutorul lor, la sfîrșitul secolului, a unei cantități de energie de 10 Mtep (milioane tone echivalent petrol).

Dar paralel cu aceste cercetări, oamenii de știință explorează și o cale mai importantă : ameliorarea fotosintezei plantelor superioare.

AMELIORAREA FOTOSINTEZEI

Am menționat mai înainte pentru plantele terestre limitele existente între randamentul conversiei potențiale de 6% al fosfosintezei și randamentul real al culturilor, care rareori depășește 1%, fără a mai aminti de randamentul de 0,1% la scara planetei. Trebuie deci găsite plante cu o mai bună valorificare a energiei luminoase, printr-o funcționare optimă a mediului care permite creșterea lor : temperatura, apa, elementele minerale.

În cadrul acestei ameliorări se pune problema ce trebuie făcut pentru ca planta să producă mai multe molecule organice pornind de la substanțele de bază, CO_2 din aer și apa. Este vorba aici de cercetări fundamentale de fiziologie și biochimie vegetală, cercetări care nu sînt încă foarte aproape de aplicații practice.

Intensitatea fotosintezei variază, în condiții naturale, în funcție de eficiența cu care planta utilizează lumina solară. Într-un caz foarte favorabil, cel al trestiei de zahăr, această eficiență nu depășește 2,5%. Pentru plantele din zona noastră temperată, randamentul este în medie 0,5%. Absorbția luminii solare de către diferitele clorofile fiind prima condiție a

procesului fotosintezei, trebuie acționat în primul rînd asupra facilitării absorbției. Aceasta înseamnă în a stabili condițiile optime de plantare sau, la un nivel superior, modificarea în sens favorabil a caracteristicilor foliare (formă geometrică, poziție pe tulpină, putere de reflectare etc.). La nivelul ultrastructurii celulei vegetale s-au definit cîteva verigi ale mecanismului fotosintezei, dar intervenția la acest etaj este încă dificilă.

O cale mai directă și pe termen mai scurt ar fi selecționarea în vederea cultivării controlate a plantelor așa-numite de tip „C_4", care fixează cu mai multă eficiență dioxidul de carbon. Cele mai multe plante din zona temperată și chiar multe specii tropicale, inclusiv arborii în totalitatea lor, sînt plante de tip „C_3". Aceasta înseamnă că prima substanță formată la nivelul cloroplastelor, în fotosinteză, este un compus cu 3 atomi de carbon, adică acidul 3 fosfogliceric.

Acest acid este redus ulterior în 3 fosfogliceraldehidă. Condensarea moleculelor de acest tip duce, apoi, la furnizarea unui glucid cu 6 atomi de carbon, glucoza, care va fi în continuare polimerizat în amidon. În acest timp, la plantele de tip „C_3" intervine și un mecanism care tinde să reoxideze compușii cu carbon formați și care are drept urmare eliberarea de dioxid de carbon la lumină. Este ceea ce se cheamă fotorespirația, un proces care se opune fotosintezei. Fotosinteza duce la creșterea recoltei (biomasei), iar fotorespirația la diminuarea acesteia, mergînd pînă la 30—40%.

Plantele de tip „C_4" (trestia de zahăr, porumbul, sorgul) nu prezintă aceleași pierderi ale randamentului fotosintetic net. În cazul lor, primul compus stabil format are 4 atomi de carbon și anume acidul

oxal-acetic, un compus cetonic. Mecanismele la „C_4" sînt extrem de complexe, cuprinzînd schimburi de substanțe între celule care conțin cloroplaste de tip diferit ca structură. La acest tip de plante, dioxidul de carbon, eliberat prin fotorespirație, este „blocat" în țesuturi și preluat prin mecanisme de sinteză, foarte complicate, încă nu pe deplin lămurite.

Pentru plante, în ansamblul lor, conținutul redus al CO_2 în atmosferă (0,3%) este un factor limitant al fotosintezei în natură. Un cercetător american (J. Bassham) a realizat cultivarea în atmosferă artificială (sere de plastic) a unei plante de tip „C_4" — *Stipa tenacissima*. CO_2 era recuperat din aburii proveniți de la o centrală termică, iar iluminarea administrată, convenabilă. A obținut un randament fotosintetic de 5% — un randament foarte bun, dar în natură această valoare nu poate fi obținută decît în mod excepțional.

La baza ameliorării producției fotosintetice stau cercetările asociate de fiziologie, genetică și biochimie. Orice factor care contribuie la creșterea biomasei, constituie un progres imens pentru omenire, legat atît de utilizările acesteia în scopuri energetice cît și de problema alimentației.

La fel ca toate sistemele energetice și biomasa prezintă evident avantaje și inconveniente.

AVANTAJELE ȘI LIMITELE BIOMASEI

Avantajele biomasei sînt multiple. Biomasa este regenerabilă în fiecare *sezon de creștere* și permite o utilizare multiplă : ea furnizează în principal alimente, dar poate servi, după conjunctură, la producerea de energie. De asemenea, folosirea biomasei în scopuri energetice nu produce perturbări ecologice, mai mult sau mai puțin grave, ca în cazul utilizării cărbunelui sau energiei nucleare. Totuși, nu se poate afirma că utilizarea masivă a biomasei (în special forestiere) nu ridică nici un fel de probleme.

Astfel, producerea pe scară mare a biomasei poate avea drept consecințe, epuizarea substanțelor nutritive din sol, distrugerea unor habitate naturale și consumarea unor mari cantități de apă. Prelucrarea biomasei, în special pe cale termochimică, poate prezenta caracteristici similare cu rafinarea petrolului, însoțite de perturbări ale mediului înconjurător.

Dintre factorii ce limitează producerea biomasei pe primele locuri stau randamentele mediocre de conversie a energiei solare și problema terenurilor. Nu poate fi sacrificată nici o palmă de teren, pe care se cultivă plante agricole, mai ales în țările care nu

dispun de întinderi mari de pămînt, ca Brazilia sau S.U.A. Problema cheie a utilizării unei părți din masa vegetală pentru energie este ca ea să nu concureze cu folosirea recoltelor pentru hrană sau alte produse pe care plantele le oferă oamenilor. Nu este permisă în nici un caz utilizarea plantelor în scopuri energetice sacrificînd hrana oamenilor sau animalelor. De aceea, se impune asigurarea unei corelații strînse între recolta biologică utilă cu finalitate alimentară și recolta sau biomasa neutilă (paiele, deșeurile agricole etc.) care poate și trebuie să fie folosită pentru obținerea de energie.

Mai sînt și alte cîteva handicapuri ale biomasei : producția ei sezonieră și dispersată în spațiu ; volumul ei destul de mare în stare proaspătă, datorită conținutului ridicat în apă, ceea ce pune probleme uriașe de colectare, transport și depozitare.

Din aceste motive, utilizarea energetică a biomasei trebuie să facă obiectul unor studii deosebite și a unei organizări speciale. Exploatarea „energiei verzi" existente sau special dirijate prin culturi exclusiv făcute în acest scop, nu va deveni rentabilă decît în măsura în care tehnicile de recoltare și de transport nu vor fi suficient de puse la punct.

Pentru ca energia din biomasă să devină o alternativă viabilă ca sursă de energie este necesar mai întîi un efort uriaș pentru dezvoltarea de noi tehnologii care să integreze armonios și rentabil producerea de combustibili în sistemul producției agricole și silvice.

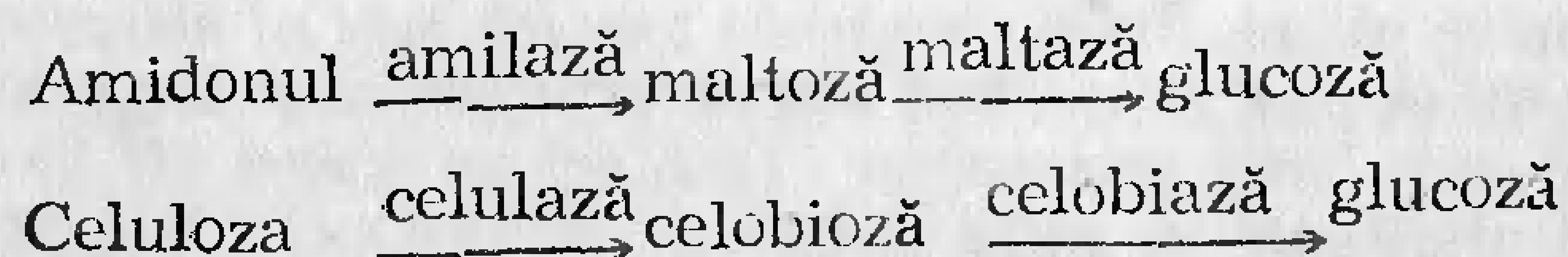
PRODUCEREA ETANOLULUI

La începutul secolului al XX-lea etanolul (alcoolul etilic) era produs pe scară mare prin fermentație. În ultimii ani, datorită creșterii prețurilor zahărului și amidonului, un procent ridicat din etanolul produs (70%, de exemplu, în S.U.A.) a fost obținut prin sinteză chimică.

Sinteza chimică a etanolului se realizează pornind de la etilenă ($CH_2{=}CH_2$), provenită din petrol sau gazul natural ; etilena, în prezența apei și catalizatorilor, este transformată, la temperaturi ridicate, în alcool etilic sau etanol. Haosul prețurilor petrolului, ca urmare a crizei acestuia, a readus în actualitate procedeul obținerii etanolului prin fermentarea produșilor vegetali.

Dintre plantele alcooligene care au intrat curent în exploatare și care pot fi cultivate în vederea producerii de etanol se pot cita trestia de zahăr, sfecla pentru zahăr, sorgul dulce și ananasul, la care principalul glucid este zaharoza ; din altă categorie de plante fac parte porumbul, maniocul, cartoful și topinamburul, la care principalele glucide de rezervă sînt amidonul și inulina (polizaharide).

Degradarea biologică (cu ajutorul enzimelor produse de microorganisme) a amidonului și celulozei, principalele polizaharide din plante pînă la glucoză (monozaharid) poate fi reprezentată sumar în modul următor :



$$\text{Amidonul} \xrightarrow{\text{amilază}} \text{maltoză} \xrightarrow{\text{maltază}} \text{glucoză}$$

$$\text{Celuloza} \xrightarrow{\text{celulază}} \text{celobioză} \xrightarrow{\text{celobiază}} \text{glucoză}$$

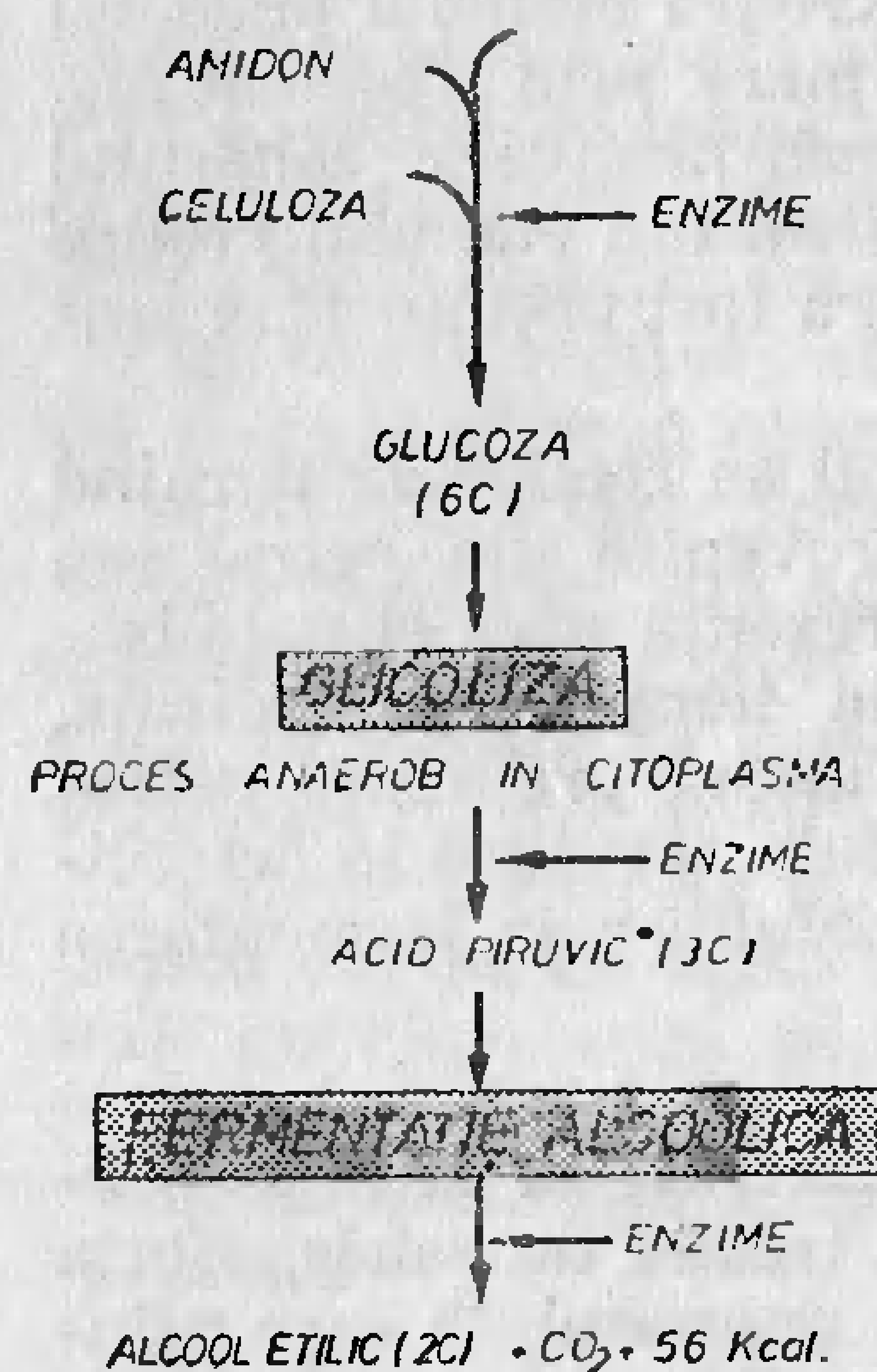


Fig. 2 — Reprezentarea schematică a glicolizei și a fermentației alcoolice (etanol)

Glucoza (monozaharid) prin fermentație alcoolică cu participarea microorganismelor este apoi transformată în alcool etilic ($CH_3—CH_2—OH$), CO_2 și energie (fig. 2).

CONSIDERAȚII GENERALE

La larga utilizare a etanolului în industria chimică sub formă de solvent, agent de extracție și antigel sau pentru sinteza a numeroși alți solvenți, tincturi, produși farmaceutici, lubrifianți, adezivi, detergenți, plastifianți, pesticide, rășini sintetice, explozibili, se adaugă în prezent și folosirea etanolului asociat cu benzina

(gazocol) drept carburant în motoarele de combustie internă. Carburantul se realizează fie sub formă de etanol anhidru (99,8%) asociat cu benzină într-o proporție maximă de 20%, fie sub formă de etanol hidratat (94%) neamestecat cu benzină.

Valoarea economică a alcoolului amestecat cu benzina este cu 15—20% mai ridicată decît aceea a alcoolului utilizat ca substituent al benzinei.

În uzinele prelucrătoare de trestie de zahăr, care sînt cele mai simple, trestia este spălată, strivită, iar reziduul lemnos este separat de sucurile zaharate. Acest reziduu lemnos este apoi uscat și ars pentru a furniza energia necesară producerii etanolului.

Sucurile zaharate, concentrate și sterilizate sînt supuse fermentației. Etanolul produs este separat apoi prin distilare de elementele solide ale fermentației și de soluția alcoolică de 8—10%. Lichidele reziduale sînt foarte poluante, dar tratate corespunzător pot furniza 2—3% din elementele fertilizante (îngrășăminte).

In fabricile care tratează plantele bogate în amidon, problema esențială o constituie hidroliza acestuia în glucide simple (glucoză), fermentescibile ; mai mult, în absența reziduului lemnos (ca în cazul trestiei de zahăr), este nevoie de o sursă exterioară de energie, care ridică costurile de producție. Din acest motiv, eforturile de ameliorare a producției de alcool au fost îndreptate spre dezvoltarea unor tehnologii de fermentație continuă care să conducă la obținerea unei concentrații mai ridicate de alcool (de 12% în loc de 8—10%) ; spre creșterea randamentului energetic, în condițiile unei distilări mai eficiente ; spre o mai bună utilizare a reziduurilor și subproduselor agricole drept combustibili sau ca materie primă ; spre utilizarea și a altor plante alcooligene,

în afară de trestia de zahăr (sorgul dulce și maniocul în țările tropicale și subtropicale).

Valoarea economică a producției de etanol este în funcție de mai mulți factori, dintre care amintim :

1. Sistemele de cultură ; țările care produc trestia de zahăr și melase pe scară mare sau care dispun de produse agricole excedentare sînt mult mai avantajate în dezvoltarea programelor de producere a etanolului.

2. Costul materiilor prime extrase din biomasă și sursa de combustibili folosiți.

3. Costul distribuției : în țările fără ieșire la mare sau în regiunile îndepărtate, cu infrastructură limitată, valoarea mai ridicată a unui produs de înlocuire a benzinei poate justifica producția de etanol.

În plus, concurența între producerea de alcool și producția de materii vegetale cu interes alimentar trebuie să fie serios examinată și evaluată, atît în ceea ce privește problema terenurilor cultivate, cît și în funcție de evoluția prețurilor surselor de energie și de cea a produselor agricole.

Se consideră că în decursul deceniului 1980—1990, în general, prețurile surselor de energie vor crește mai mult decît cele ale produselor agricole, iar presiunile de ordin economic se vor exercita, probabil, în favoarea folosirii unei proporții mult mai mari de biomasă vegetală în vederea producerii de energie. Bineînțeles, aceasta nu presupune, în nici un caz, sacrificarea hranei, pentru o parte a populației, din țările mari producătoare de biomasă.

Este totuși posibilă dezvoltarea culturii anumitor specii de plante pe terenuri marginale, ca maniocul, de exemplu, în zona aridă.

OBȚINEREA BIOETANOLULUI

Una din căile rezolvării problemei globale a biotransformării produșilor fotosintezei este obținerea etanolului din biomasă vegetală cu ajutorul microorganismelor, de unde și numele de bioetanol.

Există cîteva motive care determină interesul față de cercetările în această direcție. În primul rînd, materia primă utilizată, în afara unor specii vegetale, special cultivate în acest scop, poate fi reprezentată și prin deșeurile vegetale neutile din punct de vedere alimentar cum sînt de exemplu paiele, cocenii, fructele necomestibile, frunzele etc. În al doilea rînd, fermentația alcoolică este cea mai veche ramură a biotehnologiei și are cîteva sisteme tehnologice puse de acuma la punct și o bază industrială bine dezvoltată. În plus, transformarea biomasei vegetale în etanol este mai convenabilă, din punct de vedere energetic, decît transformarea ei în biomasă microbiană (proteină). Acest lucru este confirmat prin compararea bilanțului material-energetic al procesului aerob de transformare a glucidelor în biomasă microbiană și a procesului anaerob de conversie a glucidelor în etanol.

MICROORGANISMELE PRODUCĂTOARE DE ETANOL

Microorganismele utilizate în transformarea produșilor fotosintezei în etanol pot fi împărțite în trei grupe :

Grupa I. Din această grupă fac parte drojdiile, utilizate, în mod tradițional, pentru transformarea

glucidelor în etanol. Este vorba de microorganisme unicelulare din grupa ciupercilor.

Avantajele desfășurării procesului de fermentație în prezența drojdiilor constau în aceea, că transformarea substratului în etanol poate merge pînă la o proporție de aproape 100%; se formează puțini produși secundari; drojdiile cresc bine la valori scăzute ale pH-ului, ceea ce micșorează pericolul contaminării și reduce cerințele de sterilitate față de mediu.

Printre dezavantaje, amintim spectrul limitat al substratelor folosite. Celuloza, de exemplu, poate fi folosită numai după o hidroliză prealabilă. În timpul fermentației intensive temperatura se poate ridica pînă la 39°C, ceea ce inhibă procesul. Concentrațiile ridicate ale substratului sînt de asemenea inhibitoare pentru fermentație.

Grupa a II-a. Din această grupă fac parte bacteriile mezofile aparținînd genului *Zymomonas*. Acești producători de etanol, găsiți și studiați mai intens în ultimii ani, sînt superiori drojdiilor, avînd un metabolism de cîteva ori mai intens decît acestea. Temperatura optimă de dezvoltare a bacteriilor mezofile este cuprinsă între 30° și 35°C.

Dintre avantaje amintim viteza specifică ridicată a procesului de fermentație. Pot fi folosite medii concentrate ce conțin pînă la 40% glucoză. În plus, se constată o toleranță relativ ridicată a bacteriilor mezofile față de concentrația etanolului.

Dezavantajele sînt legate și în acest caz de spectrul limitat al substratelor folosite. Se formează, ca produși secundari, acetatul și lactatul; pH-ul de 5,5 nu asigură selectivitate, existînd pericolul contaminării mediului în timpul procesului.

Grupa a III-a. Bacteriile termofile (temperatura optimă de dezvoltare între 60° și 65°C) au atras atenția, în special, prin faptul că ele sînt capabile să transforme polimerii glucidelor vegetale (amidonul, celuloza, inulina) direct în etanol. În acest caz nu mai este necesară depolimerizarea (hidroliza) prealabilă a substratului, celuloza de exemplu fiind transformată direct în etanol. Mediul nu mai prezintă pericol de contaminare și sterilizarea lui nu este obligatorie. Separarea etanolului din suspensie cere mai puțină energie. Se constată o îmbunătățire a unor parametri fizico-chimici ai procesului (solubilitatea substratului, vîscozitatea etc.). Ca neajunsuri se poate aminti formarea unor produși secundari (acetat, lactat ș.a.) care stînjenesc procesul și o toleranță insuficientă a acestor bacterii termofile față de etanol.

Fiind cea mai veche, metoda de obținere a alcoolului cu ajutorul drojdiilor este și cea mai bine cunoscută. Fără a intra în amănunte, trebuie să menționăm faptul că mărirea productivității fermentației alcoolice cu drojdii, în ultimul timp, s-a obținut mai ales pe seama perfecționărilor tehnologice. În acest scop se folosesc sisteme cu celule imobilizate, fermentații în vid, recircularea celulelor etc. Folosirea mai largă a producătorilor tradiționali de etanol — drojdiile aparținînd genurilor *Saccharomyces* și *Schizosaccharomyces*, în transformarea biomasei vegetale este limitată, în principal, din două motive: primul motiv este legat de faptul că, fermentația alcoolică trebuie să fie precedată de o depolimerizare prealabilă a polimerilor vegetali; al doilea motiv este legat de faptul că, din hidrolizat drojdiile folosesc numai hexozele (ce reprezintă 55% din întreaga masă vegetală).

De aceea, în prezent, cercetătorii caută pe toate căile să depisteze noi producători de etanol, fie

drojdii cu un spectru mai larg de folosire a substratelor, fie alte microorganisme, de exemplu bacterii.

Metabolismul bacteriilor este mai puțin cunoscut decît cel al drojdiilor ; totuși, în ultimii ani s-au înregistrat mari progrese în cunoașterea fermentației alcoolice bacteriene. În afară de aceasta, bacteriile, în comparație cu drojdiile, sînt un material mai comod de manipulare genetică și, pe această cale, de îmbunătățire a însușirilor lor fiziologice și tehnologice.

Numai de cîțiva ani atenția biotehnologilor a fost atrasă de bacteriile mezofile aparținînd genului *Zymomonas*. S-a elaborat chiar un procedeu de laborator pentru obținerea de etanol cu aceste bacterii mezofile cu o productivitate de 152 g etanol l/h.

Avantaje și mai mari au prezentat bacteriile termofile anaerobe în obținerea etanolului. În această grupă intră reprezentanți cu activitate celulozolitică permițînd transformarea celulozei direct în etanol.

Prezentăm în tabelul 1 o serie de date extrase din literatura de specialitate asupra principalelor caracteristici fiziologice și tehnologice ale microorganismelor producătoare de etanol

PRODUCEREA ETANOLULUI DE CĂTRE BACTERII

În prezent, o atenție deosebită în producerea etanolului se acordă bacteriilor mezofile și termofile. Acestea, comparativ cu drojdiile, manifestă o sensibilitate mai scăzută față de concentrația etanolului și prezintă o viteză de utilizare a glucozei, în producerea etanolului, de aproape trei ori mai ridicată. Ele au capacitatea de a transforma aproape în întregime glucoza sau fructoza în etanol și CO_2.

Tabelul 1

Caracterizarea fiziologică și tehnologică a microorganismelor producătoare de etanol

Microorganismul	Valori optime		Randamentul de transformare, %	Conc. max. a etanolului g/l	Observații
	pH	Temp., °C			
Saccharomyces cerevisiae	3—4	30	100	130	Nu utilizează pentoze.
S. rosei	4,6	35	88	42,5	Transformă inulina (topinambur) în etanol.
Kluyveromyces marxianus	4,4	35	88	44	Transformă inulina (topinambur) în etanol.
Pachysolen tannophilus	4,2	25	40—60	20	Folosește xiloza și crește în cultură amestecat.
Schwanniomyces alluvius	—	—	—	—	Transformă amidonul în etanol.
Zymomonas mobilis	5,5	30	95	130	Tolerantă la aer.
Z. anaerobis	5—6	35	90—95	96	Termorezistent.
Clostridium thermocellum	7,0	62	50	1,5	Formează complex celulozic activ.
Clostridium thermohydrosulfuricum	6,9—7,5	67—70	80	—	Rezistență la asociații.
Clostridium thermosaccharolyticum	—	55—60	70	27 (pe xiloză)	Formează butirat.
Thermoanaerobacter ethanolicus	5,8—8,5	69	90	—	Durata generației scurtă (90').

Așa, de exemplu, genul *Zymomonas* are o singură specie, *Z. mobilis*, cu două subspecii : *Z. mobilis* și *Z. pomacea*. Studiul acestor bacterii datează încă de la începutul secolului, cînd au fost izolate din microflora complexă a cidrului. Bacteriile aparținînd genului *Zymomonas* (clasificarea lor este încă disputată) sînt facultativ anaerobe. Ele cresc pe mediu care conține fie glucoză, fie zaharoză și necesită ca factori de creștere prezența pantotenatului și biotinei.

S-a stabilit că aceste bacterii mezofile din genul *Zymomonas* sînt capabile să crească la un pH cuprins între 3,5 și 7,5 și la o temperatură pînă la 36°C. Suportă o concentrație ridicată de etanol, de 70—80 g/l, în cultură continuă și 130 g/l, într-o cultură periodică. În cazul în care folosește ca substrat fructoza, în afară de etanol și CO_2 se acumulează în mediul de cultură aldehidă acetică, glicerol și dihidroxiacetonă.

Potrivit datelor din literatură *Z. mobilis* în condiții de aerobioză produce de trei ori mai puțin etanol decît în anaerobioză. Experiențe efectuate în R.S.S. Letonă au arătat că în cazul aerării culturii, viteza de utilizare a glucozei crește de la 2,45 la 3,15 g/l/h, iar randamentul formării etanolului scade. Totuși, cercetătorii consideră că bacteriile din genul *Zymomonas* sînt mai degrabă aerotolerante decît facultativ aerobe.

Utilizarea cu succes a culturii de *Z. mobilis* în sistemele biotehnologice de producere a etanolului este deja evidentă, dar mai necesită încă cercetări suplimentare pentru optimizarea producției etanolului.

Comparativ cu culturile de drojdii, bacteriile mezofile prezintă o serie de avantaje : viteze specifice ridicate de transformare a glucozei în etanol ; concentrații scăzute de biomasă ; toleranță ridicată față

de etanol în cultură ; lipsa represiei catabolice etc. Toate aceste calități recomandă folosirea lor din plin în industria alcoolului alături și de noile procese tehnologice introduse, cum sînt imobilizarea, reciclarea cu instalații în vid, selecționarea de noi tulpini etc.

Bacteriile termofile producătoare de etanol sînt de mult cunoscute, totuși interesul față de ele a crescut considerabil în ultimul timp, în special, datorită capacității unora dintre aceste bacterii termofile anaerobe de a transforma celuloza direct în etanol. Se consideră că, folosind aceste microorganisme, există posibilitatea creării unei tehnologii rentabile de transformare a produșilor fotosintezei în etanol.

Reprezentantul cel mai popular dintre bacteriile termofile anaerobe ce produce etanol și cel mai bine studiat este *Clostridium thermocellum*. Descrise pentru prima dată în 1926, în materialul organic în descompunere (gunoi, compost), în izvoare termale, aceste bacterii sînt considerate ca o componentă de bază a asociațiilor bacteriene stabile.

C. thermocellum scindează celuloza și hemiceluloza, crește pe celobioză, glucoză, dar nu folosește xiloza, o pentoză de bază a biomasei vegetale. Această bacterie are creșterea cea mai rapidă dintre bacteriile cunoscute care degradează celuloza. Bacteria formează un complex celulozic extracelular cu enzimele care scindează celuloza și hemiceluloza, polimerii glucidici vegetali cei mai răspîndiți. Enzimele implicate sînt puțini studiate iar produșii finali ai hidrolizei sînt reprezentați de către celobioză și xilobioză, nu de către monozaharide cum se întîmplă în cazul ciupercii *Trichoderma* cînd aceasta degradează celuloza.

Metabolismul glucidelor la bacteriile anaerobe producătoare de etanol este relativ puțin studiat.

Biosinteza etanolului de către bacteriile termofile anaerobe se deosebește de cea realizată de către drojdii sau bacteriile din genul *Zymomonas* (mezofile) prin lipsa piruvat decarboxilazei din echipamentul lor enzimatic. În cazul bacteriilor termofile, etanolul se sintetizează pe calea în care produsul intermediar este acetilcoenzima A. Produșii finali ai transformării piruvatului sînt : etanolul, acetatul, lactatul, CO_2 și H_2.

Diferitele specii și tulpini de bacterii termofile producătoare de etanol se deosebesc mult în privința produșilor finali ai fermentației. De exemplu, pentru tulpina *C. thermocellum* raportul dintre etanol/acetat este aproape de 1, în timp ce pentru *C. thermohydrosulfuricum* și *Thermoanaerobacter ethanolicus* acest raport este aproape de 18. Ultimele două specii transformă 95% din glucoză în etanol, randament maxim obținut pentru drojdii și *Zymomonas*. Mecanismele reglării activității enzimelor implicate în fermentația alcoolică sînt încă insuficient cunoscute.

UTILIZAREA CULTURILOR DE MICROORGANISME ÎN AMESTEC PENTRU PRODUCEREA DE ETANOL

Folosirea culturilor în amestec constituie, în prezent, una din căile de perspectivă dintre cele mai atrăgătoare în vederea obținerii etanolului din biomasa vegetală. Această biomasă este alcătuită în principal din celuloză, hemiceluloză și lignină. În

medie, raportul dintre aceste componente este de 4 : 3 : 2. Etapa cea mai complexă este depolimerizarea polimerilor naturali (degradarea sau hidroliza lor pînă la monozaharide).

Încercările de a realiza în același timp, degradarea fizico-chimică sau enzimatică a lignino-celulozei cu drojdii sau bacterii din genul *Zimomonas*, nu au dat pînă acum rezultate satisfăcătoare.

Problema esențială constă în folosirea culturilor de microorganisme în amestec, atît a celor cu activitate celulozolitică, cît și a celor care produc etanol ca produs final. Așa se prezintă situația în culturile în amestec de *C. thermocellum* și *Trichoderma ethanolicus* sau în culturile în amestec de *C. thermocellum* și *C. thermohydrosulfuricum*.

În cazul folosirii culturilor în amestec este important să se aleagă o asemenea compoziție a asociațiilor încît acestea să utilizeze integral produșii secundari (acetatul, lactatul etc.). Practic acest lucru nu s-a realizat. Unii autori propun totuși o asociație, care ar include 9 specii de bacterii (W i e g e l J., 1980).

Sînt cunoscute, de asemenea, asociații complexe de bacterii termofile, alcătuite din mai mult de două specii și care se folosesc cu succes în transformarea celulozei în etanol. Se pare, că o posibilitate nevalorificată de creștere a productivității de transformare a biomasei vegetale în etanol, ar fi introducerea în asociație și a microorganismelor care posedă activitate delignificatoare.

Bacteriile producătoare de etanol mezofile și termofile constituie un material inițial relativ comod pentru îmbunătățirea genetică a însușirilor lor în fermentația alcoolică.

CONSIDERAȚII DE ORDIN TEHNOLOGIC ASUPRA TRANSFORMĂRII GLUCIDELOR ÎN ETANOL

Potrivit datelor furnizate de literatura de specialitate, procesele bacteriene ale fermentației alcoolice, inclusiv conversia substraturilor care conțin celuloză, pînă la nivelul etanolului, se găsesc în stadiul cercetărilor de laborator.

Se știe că de mai multe decenii există o industrie dezvoltată a alcoolului, cu folosirea drojdiilor pentru fermentație. În prezent problema importantă care se ridică în fața cercetătorilor este elaborarea unei tehnologii industriale de obținere a etanolului cu ajutorul bacteriilor termofile și mezofile, folosind bineînțeles experiența cîștigată pînă acum în fermentația alcoolică cu ajutorul drojdiilor. Tocmai din acest motiv am insistat asupra utilizării bacteriilor și a proprietăților lor fermentative.

Actualmente, în lume, aproximativ 75% din bioetanol se produce folosind drojdiile ca microorganisme în fermentația etanolică.

Orice perfecționare a tehnologiilor existente, prin complicarea aparaturii, conduce la scumpirea produsului și nu întotdeauna această direcție este economic justificată. Sistemele cu celule floculate sau imobilizate și cu mijloace de recirculare a biomasei se pare că au întîietate în industrie.

Un sistem de înaltă productivitate folosind celule imobilizate a fost conceput de către specialiștii japonezi. Folosirea unui bioreactor orizontal a permis să se atingă nu numai o productivitate ridicată dar și o creștere a concentrației etanolului la ieșire.

În prezent, metoda obținerii etanolului cu ajutorul bacteriilor nu se aplică în practica industrială. Totuși, în cercetările de laborator rezultatele sînt promițătoare. Datele obținute pînă în prezent sînt însă insuficiente pentru a aprecia capacitatea potențială a bacteriilor producătoare de etanol la scară industrială, viteza lor maximă de sinteză, randamentul și concentrația etanolului produs.

Sînt necesare cercetări fundamentale asupra metabolismului bacteriilor producătoare de etanol, îmbunătățirea genetică a tulpinilor, folosirea asociațiilor de bacterii în amestec. Se consideră că fermentația anaerobă termofilă a substraturilor care conțin celuloză va putea deveni rentabilă numai dacă se va reuși menținerea unei productivități în cazul existenței în sistem a unei concentrații a etanolului de peste 4,5%.

Marea majoritate a cercetătorilor în acest domeniu al obținerii etanolului este consacrată studierii transformării mono și dizaharidelor (glucoza și respectiv zaharoza) sau a celulozei în etanol. Se acordă mai puțină atenție cercetării transformării altor poliglucide vegetale. Din acest punct de vedere, mai recent, un interes deosebit îl prezintă cercetările privind obținerea directă a etanolului din inulină (un poliglucid reprezentativ în extractele plantei de topinambur) sau din amidon.

Fermentația alcoolică de producere a etanolului rămîne încă apanajul drojdiilor, dar perspectivele înlocuirii sau completării sistemelor existente prin utilizarea bacteriilor mezofile sau termofile sînt dintre cele mai promițătoare.

PRODUCEREA BIOGAZULUI

Reducerea treptată a resurselor energetice clasice a determinat omenirea să-și îndrepte tot mai mult atenția spre utilizarea resurselor neconvenționale de energie. Dintre acestea, reziduurile și deșeurile organice, valorificabile energetic prin producere de biogaz, ocupă un loc important.

Definit mai complet, biogazul este un amestec combustibil, care rezultă din fermentarea anaerobă a subproduselor și deșeurilor agricole (iarbă, frunze uscate, tulpini, coceni etc.) în amestec cu dejecții animaliere (provenite de la bovine, ovine, porcine, cabaline, păsări), ape reziduale, menajere etc.

Deci, în afara reziduurilor vegetale, este posibilă și utilă valorificarea energetică a deșeurilor organice de origine animală. Acestea, constituie de fapt, tot produși ai fotosintezei, dar mai îndepărtați, ce au fost degradați în urma unei prime utilizări (produse vegetale consumate de animale). Ponderea lor în cadrul procesului de metanogeneză (producere a metanului, component de bază al biogazului) este considerabilă.

SCURT ISTORIC

Fermentația metanică sau metanogeneza constituie o veche filieră de transformare energetică a biomasei, pusă în evidență în 1776 de V o l t a, care a descoperit metanul în gazul mlaștinilor.

Biogazul, produs în cadrul acestui proces este, de fapt, un amestec de 65% metan, 30% dioxid de carbon, 1% hidrogen sulfurat (H_2S), precum și urme de azot, oxigen, hidrogen și monoxid de carbon.

Numit și gazul mlaștinilor, deși se întîlnește și în regiunile vulcanice și petroliere, metanul este inodor și arde cu o flacără albastră fără fum ; combustia sa nu incomodează pe cei obișnuiți să utilizeze drept combustibil lemne de foc sau reziduuri de la bucătărie (resturi menajere).

Energia produsă de 28 m^3 de biogaz echivalează cu cca a 16,8 m^3 gaz natural sau 20,8 l benzină, sau 18,4 l carburant Diesel.

Studiul mai aprofundat al fermentației metanice a început la sfîrșitul secolului trecut. În 1902, V. L. O m e l e a n s k i, cercetînd fermentația metanică a celulozei, a atribuit acest proces unui singur microorganism. Ulterior, s-a dovedit că fermentația metanică este un proces strict anaerob și se realizează cu ajutorul unor asociații microbiene complexe. S-a arătat, de asemenea, că bacteriile anaerobe celulozolitice nu formează metanul : ele furnizează numai substraturile, respectiv acizi organici, alcooli, hidrogen și dioxid de carbon, altor microorganisme ce formează direct metanul. Dar asupra fazelor fermentației metanice și esenței procesului, vom mai reveni. În privința culturilor pure de bacterii producătoare de metan (metanogene) acestea au fost izolate mult mai tîrziu.

UTILIZAREA PRODUSELOR ORGANICE ÎN FORMAREA BIOGAZULUI

Întrucît materialul organic ce alimentează producerea de biogaz provine în mare parte din fermele zootehnice, ne vom referi asupra acestui aspect.

Atîta timp cît creșterea animalelor era extensivă, datorită faptului că numărul acestora pe unitatea de suprafață nu era mare, nu era niciun pericol pentru mediul înconjurător (din punct de vedere al poluării); gunoiul de grajd, după ce era ținut un timp relativ îndelungat (pentru a se descompune) era scos în cîmp unde azotul, fosforul și alte elemente conținute în el, erau incluse în circuitul natural al materiei.

Dezvoltarea intensivă a zootehniei, ridică în mod necesar problema folosirii raționale a deșeurilor fermelor. Desigur, gunoiul de grajd reprezintă înainte de toate un îngrășămînt organic natural, deosebit de valoros. Dar, trebuie să se țină seama de faptul, că în acest gunoi trece relativ multă energie, cheltuită în ramura dată a zootehniei. De exemplu, în fermele zootehnice pentru lapte, în gunoiul de grajd trece 47% din energia cheltuită; prin fermentația metanică a acestui gunoi aproximativ 10% din energie, poate fi returnată în producție. În multe țări în curs de dezvoltare, bălegarul provenit de la bovine, uscat, servește prin ardere drept sursă de combustibil pentru gătitul alimentelor. Dar, în acest fel, solul se află privat de o sursă de materie organică cu atît mai utilă cu cît disponibilitățile de îngrășăminte sînt tot mai reduse (avînd în vedere creșterea suprafețelor cultivate).

Pe de altă parte, gunoiul de grajd, ca îngrășămînt organic, se consumă periodic, nu continuu. Astfel, se acumulează în cantități mult prea mari, ocupînd suprafețe de depozitare considerabile. În afară de aceasta, emană un miros respingător poluînd aerul; sub formă diluată (lichidă), se prelinge din depozite și putînd ajunge în bazine de apă aduce prejudicii mediului înconjurător. Deci, gunoiul de grajd al fermelor constituie, în același timp, o sursă de agenți ai bolilor infecțioase și de paraziți.

Practica prelucrării deșeurilor industriale, comunale și agricole se bazează pe folosirea proceselor microbiene aerobe și anaerobe.

Procesele aerobe (care decurg în prezența oxigenului) de descompunere a substanțelor organice au loc mai rapid decît cele anaerobe (care decurg în absența oxigenului).

Aceasta se explică prin faptul că procesele metabolice, ca urmare a asigurării lor cu energie suficientă, au loc mai intens în celulele microorganismelor. În cazul procesului aerob, biomasa microbiană crește notabil pe seama asimilării glucidelor, combinațiilor azotului, fosforului. Pierderile de azot, în cazul fermentației aerobe ating 40%, ceea ce influențează negativ asupra valorii îngrășămintelor organice. Totuși, în cazul procesului aerob se poate obține biomasă microbiană cu destinație furajeră.

În condiții anaerobe, creșterea și înmulțirea microorganismelor decurge mai lent, dar acestea convertesc foarte economic unele substanțe organice în altele, păstrînd în aceste noi substanțe, cantități considerabile de energie. În cazul prelucrării anaerobe a deșeurilor diferitelor substanțe organice, în final, se formează biogazul, un amestec de gaze (metan,

CO_2, H_2 și altele). Metanul și hidrogenul conținute în biogaz, după cum se știe, sînt bogate în energie.

În timpul fermentației metanice se transformă în biogaz 30—50% din substanța organică. În substrat crește cantitatea de substanțe minerale ușor asimilabile de către plante.

Dacă fermentația metanică are loc în condiții termofile (55—57°C) se realizează în același timp și dezinfectarea substratului (sînt distruse microorganismele patogene și paraziții animalelor).

Un grup de cercetători din Canada (J. M. Scharer, M. Moo Young, M. Fujita, D. Bythell) propun ca *fermentația metanică să fie asociată cu fermentația aerobă pentru ca, pe lîngă biogaz să se obțină un randament crescut de biomasă microbiană bogată în proteină*. Ca sursă de carbon se recomandă *folosirea paielor*. Reziduul gunoiului rămas în urma fermentației metanice este îmbogățit cu paie și supus fermentației aerobe cu ajutorul ciupercii microscopice *Chaetonium cellulolyticum*.

MICROFLORA FERMENTAȚIEI METANICE

Se cunosc peste 20 de specii de bacterii producătoare de metan, denumite bacterii metanogene sau metanobacterii. Aceste bacterii, deși constituie un grup relativ mic, se remarcă printr-o heterogenitate evidentă pe plan morfologic (sarcina, coci, bacili, spirili). Unele forme se pot deplasa cu ajutorul flagelilor.

Formele bacilare aparțin genului *Methanobacterium*, dar se deosebesc mult între ele. Unele sînt Gram pozitive (*Methanobacterium ruminantium*,

M. thermoautotrophicum, *M. arbophilum*, M. AZ), altele — Gram negative (*Methanobacterium formicicum*, *M. mobilis*) sau Gram variabile (*Methanobacterium omeleanskii* Mo H).

Toate organismele producătoare de metan nu formează endospori, cu excepția unui singur reprezentant al genului — *Methanobacterium kuzneceovii*.

Din genul *Methanococcus* face parte *M. vannieli*, un coc elipsoidal mobil. Dintre reprezentanții genului *Methanospirillus*, *M. hungatii* reprezintă un spiril cu flageli polari.

Cercetările asupra structurii acestor bacterii arată că, în interior, ele au pereți despărțitori.

Bacteriile producătoare de metan se deosebesc de majoritatea procariotelor prin compoziția lor lipidică. În afară de aceasta, se deosebesc de alte microorganisme atît în ce privește compoziția transportorilor de electroni, cît și prin cofermenții lor; în metabolismul lor se constată o serie de particularități. Această grupă de bacterii este considerată ca o ramură aparte în evoluția organismelor, denumită *arhebacterii*. Însușirile comune ale tuturor metanobacteriilor sînt: proprietatea lor de a crește în prezența hidrogenului și a bioxidului de carbon, foarte marea lor sensibilitate față de oxigen și inhibitorii producerii de metan.

O firmă japoneză a izolat o nouă bacterie metanogenă — *Methanobacterium kadomensis* St. 23 punînd la punct și cultura în masă a acestei tulpini pentru a fi utilizată la scară industrială într-o uzină pilot. Această metanobacterie este capabilă să efectueze o metanogeneză în numai 8 zile în loc de 20 de zile, cît este necesar în cazul procedeelor curente.

În condiții naturale, metanobacteriile trăiesc în strînsă asociație cu bacteriile producătoare de hidro-

gen; este vorba de o asociație trofică cu avantaje reciproce. Primele, folosind hidrogenul gazos produs de cele din urmă, împiedică atingerea unei concentrații ridicate de hidrogen, care ar fi toxică pentru bacteriile ce-l produc.

ESENȚA PROCESULUI DE FORMARE A METANULUI

Cu excepția unei tulpini de bacterii descoperite relativ recent (1980), toate bacteriile producătoare de metan cunoscute pot primi energie, ca urmare a oxidării hidrogenului molecular, folosind ca acceptator de electroni, dioxidul de carbon. În consecință, dioxidul de carbon se reduce pînă la metan.



$$4\,H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2\,H_2O$$

Această reacție poate fi eficientă termodinamic numai la un potențial oxido-reducător foarte scăzut în mediu (pH = 7,0 ; Eh = —300 mV). De aceea, toate bacteriile producătoare de metan, fără excepție, sînt anaerobe obligatorii și se pot dezvolta numai într-un mediu din care oxigenul lipsește complet (0,1%). Reacția de formare a metanului, din dioxid de carbon dă foarte puțină energie. De aceea, bacteriile producătoare de metan, dezvoltă o mare activitate chimică, cresc foarte încet și acumulează puțină biomasă.

Pe lîngă reacția principală — formarea metanului din hidrogen și dioxid de carbon — unele microorganisme pot folosi ca substrat formiat și oxid de carbon, dar în aceste cazuri în prima etapă a reacției se formează dioxid de carbon și hidrogen ($CO_2 + H_2$).

Bacteriile producătoare de metan pot folosi încă două substraturi — metanol și acetat. Astfel, cultura de *Methanosarcina barkeri* acționează asupra metanolului și aminelor metilate. *Methanobacillus kuzneceovii,* formă sporulată și termofilă, este capabilă să producă metan avînd ca produs intermediar acetatul. Deoarece la formarea metanului din acetat, valoarea energiei de reacție este foarte redusă, s-a emis presupunerea că acetatul servește numai ca acceptor de electroni, iar dintre donori este hidrogenul molecular.

Din datele existente în literatură, reiese că nici un fel de alte combinații ale carbonului nu asigură creșterea bacteriilor producătoare de metan.

Printre bacteriile producătoare de metan, sînt organisme ce se dezvoltă pe medii minerale, folosind hidrogenul și dioxidul de carbon nu numai pentru sinteza metanului, dar pentru formarea tuturor componentelor celulei. Paralel cu aceste organisme, există specii a căror creștere depinde de acetat, diferiți aminoacizi, hidrolizat de cazeină, extract de drojdii, fiind stimulată de aceste substanțe.

Datele privind procesele energetice și de biosinteză ce au loc în bacteriile producătoare de metan sînt destul de insuficiente, deși în ultimul timp se desfășoară numeroase cercetări asupra metabolismului lor.

Datele obținute cu ajutorul izotopilor radioactivi, referitoare la cultura de *Methanobacterium thermoautotrophicum,* arată că bacteriile producătoare de metan folosesc dioxidul de carbon sub formă de gaz, iar hidrogenul necesar pentru sinteza constituen-

ților celulari îl iau din apă, nefolosind hidrogenul molecular prezent în mediul în care are loc creșterea culturii.

Deci, hidrogenul molecular servește doar ca donor de electroni.

Schema generală de formare a metanolului este dată de H. A. Barker, din 1956. În pricipiu ea este corectă, dar pînă în prezent au fost studiate numai diferite etape ale ei.

Foarte importantă este descoperirea participării la sinteza metanului a combinației denumite coferment M (Co M) ; se consideră că acesta ia parte la sinteza metanolului nu numai în ultimele stadii, implicîndu-se în acest proces mai devreme.

Diferite specii de bacterii producătoare de metan conțin un transportor de electroni special, așa-numitul factor 420 (F 420). Acesta a căpătat denumirea după maximumul de fluorescență în forma oxidată. Un asemenea transport de electroni a fost descoperit numai la bacteriile producătoare de metan. F_{420} ca și Co M ocupă o poziție centrală în metabolismul acestor microorganisme.

Mecanismele formării metanului de către metanobacterii nu pot fi considerate pe deplin elucidate.

Pentru ca bacteriile producătoare de metan să poată realiza etapa terminală a descompunerii anaerobe — formarea gazelor — este necesară pregătirea prealabilă a substratului : combinațiile organice complexe trebuie să fie transformate în produși mai simpli, aceștia constituind premergătorii direcți ai metanului în mediu. Căile formării metanului sînt determinate nu atît de bacteriile producătoare de metan, cît de alte microorganisme ce pregătesc substratul pentru sinteza metanului.

Se consideră că biometanogeneza (procesul de formare a metanului), cuprinde în esență 3 faze :

— solubilizarea și hidroliza constituenților organici ;

— acidogeneza ;

— metanogeneza propriu-zisă.

Prima fază nu este niciodată terminată în operațiile de metanizare a deșeurilor, căci ea ar necesita o durată prea lungă ; transformarea energetică nu interesează, în final, decît jumătate din materia organică — 1 800 Kcal/kg de material uscat, în loc de 4 000 Kcal obținute pe cale termochimică — dar, reziduul de la fermentația metanică prezintă interes din punct de vedere agronomic, căci poate servi drept îngrășămînt.

În procesul la care ne referim (producerea metanului) intervin trei grupe de bacterii :

— *prima grupă,* transformă substraturile organice complexe în acizii butirici, propionic și lactic ;

— cele din *a doua grupă,* sînt *bacterii acetogene* și transformă acești acizi organici în acid acetic, hidrogen și dioxid de carbon ;

— din *a treia grupă* fac parte bacteriile metanogene care reduc dioxidul de carbon în metan și consumă hidrogenul, care altfel, ar inhiba bacteriile acetogene.

În 1967, Bryant și alții au descoperit că organismele acetogene și metanogene formau o asociație simbiotică, considerată pînă atunci ca un singur microb denumit *Methanobacillus omelianskii.*

Din punct de vedere biochimic, „fermentația" metanică este, de fapt, un tip de respirație anaerobă, în care electronii provenind de la substraturi organice ajung în final la dioxid de carbon care apoi

este redus la metan (într-o fermentaţie propriu-zisă, acceptorul final de electroni este o moleculă organică, ce este redusă pentru a da produsul caracteristic al fermentaţiei : astfel, în fermentaţia alcoolică, aldehida etilică este redusă la alcool etilic).

Bacteriile producătoare de metan cresc mai lent decît microorganismele de fermentaţie. Datorită acestui fapt, înainte de începerea formării gazului se acumulează în mediu acizi volatili : de aici denumirea fazei a doua, „acidă". Vitezele de formare şi utilizare a acizilor se uniformizează în timp şi, în continuare, descompunerea substratului şi formarea gazului se desfăşoară în paralel. Din punct de vedere microbiologic această fază este incomplet studiată. Cercetările arată că majoritatea microorganismelor acestei faze este alcătuită din anaerobe obligatorii. Printre microorganismele de fermentaţie se întîlnesc reprezentanţi din familii bine studiate : *Enterobacteriaceae, Clostridiaceae, Lactobacillaceae, Streptococcaceae.*

În ultimul timp, se subliniază rolul important în descompunerea anaerobă a substanţei organice a bacteriilor anaerobe obligatorii nesporulate, reprezentante ale genurilor *Bacteroides* şi *Butirivibrio.*

CĂILE POSIBILE DE FORMARE A METANULUI

Substratul comun folosit de toate bacteriile producătoare de metan este hidrogenul. *Calea hidrogenului* este principală la formarea metanului de către microflora din rumenul erbivorelor. S-a dovedit, că viteza de formare a metanului este proporţională cu concentraţia hidrogenului dizolvat. Bacteriile ce formează metan în rumen, leagă hidrogenul ce inhibă microflora aflată în acest compartiment al stomacului. Metanul ce se formează este un gaz neutru care nu acţionează asupra microorganismelor anaerobe iniţiale.

Calea hidrogenului de formare a metanului funcţionează şi în alte ecosisteme — în reziduul fermentatoarelor de metan şi al bazinelor acvatice.

Deci, bacterii producătoare de metan pot fi găsite în zona anaerobă a diferitelor bazine, unde are loc descompunerea substanţei organice, dar şi în solul mlăştinos, în xilemul copacilor, în tractul digestiv al erbivorelor.

Alt substrat folosit pe scară largă de bacteriile producătoare de metan este *formiatul.* El este folosit de organisme ce au fermentul formiat-dehidrogenaza. Activitatea acestui ferment în reziduul fermentatoarelor de metan nu este mare, ceea ce dovedeşte faptul că această cale în biocenoza dată este de mică importanţă.

Deci, sub acţiunea mai întîi a unor anumite microorganisme anaerobe se scindează substraturile, bogate în energie, iar în mediu apar primii produşi de fermentaţie — acizii organici volatili, formiatul, acetatul, proprionatul, butiratul, cîţiva alţi acizi organici, de exemplu, acidul lactic şi succinic, alcooli inferiori, aldehide şi cetone, precum şi produşi gazoşi.

Produsul de bază al fermentaţiei primare din fermentatoarele pentru metan este acetatul. Din acetat se formează, în medie, 73% metan. *Calea acetatului* de formare a metanolului se realizează, de asemenea, în bazine, unde are loc descompunerea intensivă a

substanțelor organice. În lacuri, 75% din metan se formează din acetat. Se consideră că acetatul este produsul intermediar în fermentația metanică a propionatului. Propionatului îi revine, aproximativ, 15% din metanul format.

Descompunerea butiratului, caproatului și valeriatului trece, de asemenea, prin acetat și propionat. Acești acizi grași sînt deseori găsiți în lichidele fermentatoarelor de metan. Produsul intermediar al fermentației metanice poate fi, de asemenea, acetatul.

Produs al fermentației primare poate fi, de asemenea, *lactatul*. Formarea și acumularea lactatului are loc înaintea acumulării și scindării acetatului, propionatului și butiratului.

Astfel, în fermentația metanică în ecosistemul dat *trebuie să fie prezente microorganismele* acelor asociații care transformă produșii primari ai fermentației în acetat, hidrogen și dioxid de carbon.

BIOTEHNOLOGIA FERMENTAȚIEI METANICE

În cadrul biotehnologiei fermentației metanice se impune respectarea condițiilor optime pentru desfășurarea procesului precum și proiectarea unor instalații și scheme tehnologice adecvate.

Fiind un proces biologic, metanogeneza pentru a se desfășura cu maximum de eficiență presupune o bună cunoaștere a fiziologiei microorganismelor ce intervin în cadrul procesului, respectiv a influenței diferiților factori interni și externi asupra metabolismului lor.

S-a arătat că biogazul — produsul final al metanogenezei este un amestec de gaze. Proporția acestora poate varia în limite relativ largi, în funcție de anumiți factori cum ar fi : materia primă folosită, temperatura de fermentare, ritmul de alimentare a instalației etc.

Dezvoltarea și activitatea fiziologică a oricăror microorganisme depinde de compoziția mediului nutritiv. În cazul folosirii asociațiilor ce apar spontan, compoziția mediului determină în mare măsură spectrul microflorei. Microflora fermentației metanice convertește productiv substanțele organice ale diferitelor reziduuri dacă raportul între carbon și azot este corespunzător.

În folosirea diverselor materii prime (deșeuri de la fermele zootehnice, agricole, reziduuri menajere) pentru producerea biogazului trebuie deci să se respecte unele condiții :

— raportul între conținutul de carbon și azot (C/N) trebuie să fie cuprins între 15 și 20 sau, după alte date din literatura de specialitate, între 10 și 16 ; în felul acesta se asigură valorificarea optimă a materialului organic (în cazul insuficienței în substrat a azotului și al abundenței glucidelor poate predomina formarea acizilor, ceea ce duce la inhibarea metanogenezei) ;

— amestecul de materii prime trebuie să aibă o consistență fluidă, să curgă (90% umiditate). Materiile prime utilizate în fermentația metanică conțin carbonul și azotul în proporții variabile. De aceea, trebuie să se țină seama de acest lucru la întocmirea rețetelor pe baza cărora se face alimentarea fermentatoarelor (instalații de producerea biogazului).

Randamentul metanului variază în funcție de substrat astfel : în cazul fermentației glucidelor, fiecare kilogram de substrat produce 0,886 m^3 metan, lipidele — 1,535, iar proteinele — 0,587 m^3 metan.

Prezența ligninei în mediu, reduce considerabil eliberarea de biogaz. Astfel, în cazul unei proporții de lignină în gunoi de 10, 15 și 20% (raportată la substanța uscată), cantitatea de biogaz a reprezentat 420, 310 și 200 m^3/t substanță uscată.

În ceea ce privește umiditatea materialului supus fermentării, aducerea la o umiditate convenabilă (peste 90%) se face, de preferință, cu apă ușor încălzită. În sezonul rece, se recomandă ca amestecul să aibă o fluiditate mai redusă.

Atunci cînd în rețetă se află materiale fibroase (ierburi, paie, frunze) pentru a preveni înfundarea conductei, acestea trebuie mărunțite.

Monomerii ce se formează din polimeri, pot inhiba procesul scindării substanței organice (efectul glucozei și al altor compuși).

Din punct de vedere al activității metabolice și al vitezei de dezvoltare, știm că bacteriile producătoare de metan rămîn în urma celor ce formează acizi ; de aceea, în procesul fermentației metanice poate avea loc creșterea conținutului în acizi organici din mediu. Acizii pot inhiba procesele formării metanului, bacteriile metanogene fiind sensibile față de substratul lor, iar dioxidul de carbon format, la rîndul său, acționează ca inhibitor al procesului de metanogeneză.

În cazul prezenței în mediu a acizilor grași volatili, în limite de 0,6—1,5 g/l, de obicei nu se constată o acțiune inhibitoare asupra metanogenezei. Pentru a reduce concentrația acizilor din mediu, substratul poate fi diluat cu apă.

În afara materiei prime folosite, o influență substanțială asupra formării metanului o exercită *temperatura* și *pH-ul mediului*.

Este bine cunoscut faptul că temperatura are o foarte puternică acțiune asupra dezvoltării microorganismelor și vitezei de desfășurare a metabolismului lor. Creșterea temperaturii intr-un anumit interval de timp accelerează notabil procesele biochimice.

Deci, indiferent de rețeta folosită, în ceea ce privește substratul, producția de biogaz este direct influențată de temperatură.

Se cunosc, în principal, 3 regimuri termice de fermentare metanogenă și anume :

regim criofil . . . . . aprox. 20—24°C ;
regim mezofil . . . . . „ 25—28°C ;
regim termofil . . . . . „ 50—60°C.

Numeroși autori (J. Maly, H. Fadrus, V. H. Varel, H. R. Isaacson, M. P. Bryant) studiind rolul acestui factor în fermentația metanică au arătat că dependența eliberării gazului de temperatura mediului se caracterizează prin următoarele date :

°C	m^3 biogaz/m^3 aparat/zi
47—55	2,5
35—38	1,5—2,0
15	0,1

Se constată că o cantitate considerabil mai mare de biogaz, pe unitatea de volum a instalației, se obține în cazul realizării unui proces termofil. Acest lucru a fost verificat în numeroase experimente din diferite țări ale lumii.

Astfel, în cazul fermentației reziduurilor lichide de la fermele de porcine din R.S.S. Letonă, prin

prelucarea substratului respectiv în regim termofil, fiecare kilogram de substanță uscată, dă aproape de 1,5 ori mai mult biogaz, comparativ cu regimul mezofil. Specialiștii din această republică apreciază că temperatura optimă pentru obținerea unei cantități maxime de metan este 54—56°C. Ca o precizare, de ordin general, temperatura optimă a procesului este în funcție de însușirile mezofile sau termofile ale microorganismelor metanogene. Procesul termofil al fermentației anaerobe de producere a metanului determină reducerea speciilor aerobe de 2—3 ori, asigurînd, în același timp, și dispariția bacteriilor din grupa coli. În acest fel, este favorizată diluarea gunoiului.

Instalațiile de fermentare de mică capacitate lucrează în regim criofil, adică nu sînt încălzite, cele de capacitate medie, pot fi încălzite, lucrînd și în regim mezofil, iar cele de capacitate mare, lucrează în regim mezofil și termofil.

În cazul cînd instalațiile nu au încălzire, se pune în mod obligatoriu problema izolării termice a fermentatoarelor, singura sursă de încălzire fiind cantitatea redusă de căldură care se degajă în cursul procesului de fermentare.

Ritmul de alimentare zilnic al fermentatorului se stabilește astfel încît, timpul de staționare în fermentator să fie de aproximativ 60 de zile.

Cantitatea de biogaz obținută, după cum s-a arătat, variază mai ales în raport cu temperatura și natura substratului iar puterea sa calorifică este în raport cu conținutul în metan.

Datorită conținutului relativ ridicat în dioxid de carbon din compoziția sa, biogazul are o putere calofirică mai mică decît a gazului metan natural. De

asemenea, puterea calorifică a biogazului este de 4 ori mai mică decît a gazului lichefiat (butan propan) din butelii.

Procesul de metanogeneză se desfășoară în condiții optime — la un pH cuprins între 6,5 și 7,5, iar după alți autori ar fi între 6,0 și 8,0. Deci se recomandă respectarea unui pH aproape neutru. Pentru a reduce concentrația acizilor în mediu care scad valoarea pH-ului, substratul poate fi diluat cu apă sau se adaugă var.

Dacă în mediu este mult azot (exces de proteină) atunci pH-ul poate crește pînă la 8 și chiar mai mult. Ca urmare a alcalinității crescute, procesul de metanogeneză poate să se desfășoare mai lent.

Fermentația metanică încetinește prin prezența în mediu a ionilor metalelor grele, a amoniacului, nitraților, sulfurilor, detergenților, solvenților organici, antibioticelor. Astfel, concentrația maximă permisa a cuprului în mediu este 10, a nitriților — 50, a sulfurilor 200, a amoniacului 1 500 mg/l.

Procesul de metanogeneză este activat de factorii ce măresc conținutul în vitamina B_{12} din biomasă, respectiv de adăugarea în mediu a etanolului și clorurii de cobalt. Acest lucru se explică prin faptul că în metanogeneză participă sistemele fermentative ce conțin ciancobalamină.

Procesele vitale ale microorganismelor metanogene depind, de asemenea, de contactul lor cu substratul, fapt favorizat de omogenizarea substratului. În acest mod se realizează și îndepărtarea produselor toxice eliminate de celule în procesul de metabolism. Omogenizarea, asigurată prin agitare, este necesară și pentru prevenirea sedimentării particulelor insolubile. Dacă concentrația particulelor solide este peste

10—12%, omogenizarea mediului este îngreuiată, determinînd reducerea cantității de biogaz eliberate.

Unul din factorii ce intensifică fermentația metanică este concentrarea biomasei în lichidul de fermentație. Creșterea concentrației se atinge prin agitarea biomasei, precum și pe calea floculării sau imobilizării celulelor. În acest scop se fac adaptări speciale la instalația de producere a biogazului.

Cu toată complexitatea fermentației metanice au fost găsite o serie de metode de intensificare a procesului.

Sînt cunoscute încercări de exprimare matematică a procesului de fermentație metanică : M. Moo Young (Canada) propune chiar o ecuație empirică pentru caracterizarea productivității sistemului de fermentație metanică a reziduurilor provenite de la ferme :

$$P = \frac{L}{1+10^{pK-pH}}\left(\alpha + \beta \quad \frac{K_\tau}{1+K_\tau}\right),$$

în care :

P este productivitatea, m^3 biogaz/m^3 deșeuri/zi ;
L — cantitatea de substrat organic folosit, kg/m^3 zi ;
τ — durata înlocuirii complete a substratului, în zile ;
α — coeficient, ce depinde de natura fracției glucidice a substratului prelucrat ;
β — coeficient, ce depinde de cantitatea de azot organic din reziduuri ;
constantele pK și K (zi^{-1}) depind numai de temperatură.

În cazul fermentării metanice a deșeurilor fermelor, randamentul maxim al biogazului reprezintă 0,4—0,6 m^3 la 1 kg masă organică introdusă în fer-

mentator sau 0,8—1,0 m^3 la 1 kg masă organică descompusă. Deci, gradul de descompunere a masei organice, reprezintă 40—50% din masa organică introdusă în fermentator.

INSTALAȚII PENTRU PRODUCEREA BIOGAZULUI

Procesul de metanogeneză se desfășoară în fermentator (denumit și bioreactor) ce reprezintă o cuvă etanșă, a cărei formă variază, construită din cărămizi de argilă, ciment, oțel sau material plastic rigid. Fermentatoarele sînt, în general, îngropate pentru a folosi izolarea conferită de sol. In zonele cu climă rece, ele pot fi încălzite folosind căldura produsă de instalațiile de compostare a deșeurilor agricole.

Deasupra fermentatorului se găsește un recipient din oțel, ce servește la recuperarea biogazului și care plutește ca un clopot deasupra substratului supus procesului de fermentare. Acest așa-zis clopot previne orice pătrundere de aer, știut fiind că procesul trebuie să fie riguros anaerob. Clopotul, care are și rolul captării gazului format, poate fi confecționat și din nailon, fixîndu-se fără dificultate pe fermentatorul construit din material plastic rigid ; producerea de biogaz determină umflarea sacului de nailon, cuplat la un compresor ce mărește presiunea gazului.

În mod convențional, fermentatoarele de biogaz se împart în unicamerale (dintr-un singur corp) sau „sătești“ și industriale.

Cele din prima categorie nu au randament mare (neintensive) și nici dispozitive suplimentare pentru

încălzire sau omogenizare ; fermentatoarele industriale, în schimb, sînt prevăzute cu dispozitive de agitare și cu un întreg sistem de dirijare a procesului. Fermentatoarele pot avea diferite forme : vertical-cilindrice, orizontal-cilindrice, vertical-cilindrice cu con inferior sau superior, circulare, ovale sau piriforme.

În regiunile globului cu climă caldă se folosesc așa-numitele fermentatoare cu fund înclinat și capac plutitor.

Pentru a realiza un proces uniform și intensiv este necesar să se asigure contactul microorganismelor cu substratul ; deci, trebuie să fie o repartiție uniformă a substratului nutritiv în interiorul fermentatorului.

Omogenizarea substratului se realizează cu un agitator mecanic, intern.

Pînă în prezent nu există o părere unică privind tipul optim de instalație și metoda ideală de agitare.

Viteza de omogenizare a mediului în timpul fermentației metanice a deșeurilor este de mai mică importanță decît în cazul procesului aerob ; este necesar să se asigure în primul rînd doar starea de suspensie a particulelor substraturilor nedizolvate și a celulelor microorganismelor. Pentru aceasta, nu este necesară funcționarea permanentă a agitatoarelor : este suficientă punerea lor periodică în funcțiune.

Cerința de căldură se determină după cantitatea de căldură necesară încălzirii substratului. Convențional, se poate lua căldura specifică a mustului de bălegar egală cu căldura specifică a apei. În acest caz, pentru încălzirea unui kilogram la 1°C sînt necesare 4,18 KJouli (KJ) de căldură.

Pentru compensarea pierderilor de căldură de la suprafața instalației este necesar un procent de 8—

16% din căldura cheltuită pentru încălzirea substratului. Această cantitate de căldură poate fi redusă cu cîteva procente, printr-o izolare termică corespunzătoare.

Instalațiile „sătești" de producere a biogazului au o capacitate de cîțiva m^3 și funcționează, în principal, într-un regim cvasicontinuu, la 30—38°C.

Bioreactoarele cilindrice verticale cu partea superioară și inferioară conică, folosite pe scară largă în gospodăriile rurale, se construiesc din beton sau metal și ating un volum de cîteva mii m^3.

O fermentație metanică mai activă are loc în sistemul în 2 trepte, constituit din două bioreactoare. Pentru a mări concentrația biomasei în prima cuvă, ce lucrează în regim intensiv, în a doua se realizează separarea substanței solide și a microflorei active, o parte din această masă fiind returnată în prima cuvă.

Bioreactoarele orizontale se caracterizează prin agitarea masei în direcție longitudinală, ceea ce determină distrugerea pojghiței plutitoare. Aceste instalații permit prelucrarea unei mari cantități de substrat. Grosimea stratului de lichid în asemenea bioreactoare este mică. În felul acesta, se înlătură pericolul inhibării procesului de metanogeneză de către dioxidul de carbon. Rezervoarele orizontale se construiesc din oțel sau plexiglas.

Tipul de bioreactor orizontal modern este compartimentat și prevăzut cu pompe de agitare. Are 4 secții, fiind posibil ca substanțele solide să fie reținute un timp mai îndelungat decît conținutul fluid al mustului de bălegar. Bioreactorul are izolarea corespunzătoare pentru a fi exploatat iarna, sub cerul liber.

Într-o serie de țări cu climat cald, o largă aplicare au instalațiile de biogaz cu gabarit redus de di-

ferite tipuri de construcție, avînd capacitatea de 1—2 pînă la 50 m³.

În China, India, Indonezia, funcționează cîteva milioane de asemenea instalații. Procesul fermentației metanice se desfășoară într-o singură etapă (treaptă).

În țara noastră dat fiind interesul crescînd ce-l prezintă această problemă de mare actualitate, respectiv producerea biogazului și în urma numeroaselor solicitări, un colectiv de proiectare din cadrul Institutului de Chimie Alimentară a conceput în 1979 un fermentator pentru producerea biogazului. Capacitatea acestuia poate fi de 5 și 10 m³ — în cazul cînd este destinat gospodăriilor individuale sau de 25 și 50 m³ — dacă este destinat colectivităților mici.

Acest tip de fermentator a fost difuzat și popularizat cu sprijinul Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie.

Caracteristicile și implicit avantajele acestei instalații pentru producerea biogazului sînt :

— simplitatea execuției și a exploatării ;

— funcționalitatea multiplă a elementelor componente ;

— posibilitatea prefabricării elementelor componente în perspectiva organizării unei producții centralizate.

Instalația (fig. 3) se compune din două părți principale :

1. o cuvă de fermentare, cilindrică, izolată termic, cu ax vertical și o scurgere de prea plin ;
2. un clopot multifuncțional care poate aluneca pe verticală (culisează) în cuva de fermentare.

Instalația are regim de funcționare continuu, curățirea fiind necesară o dată la 12—16 luni.

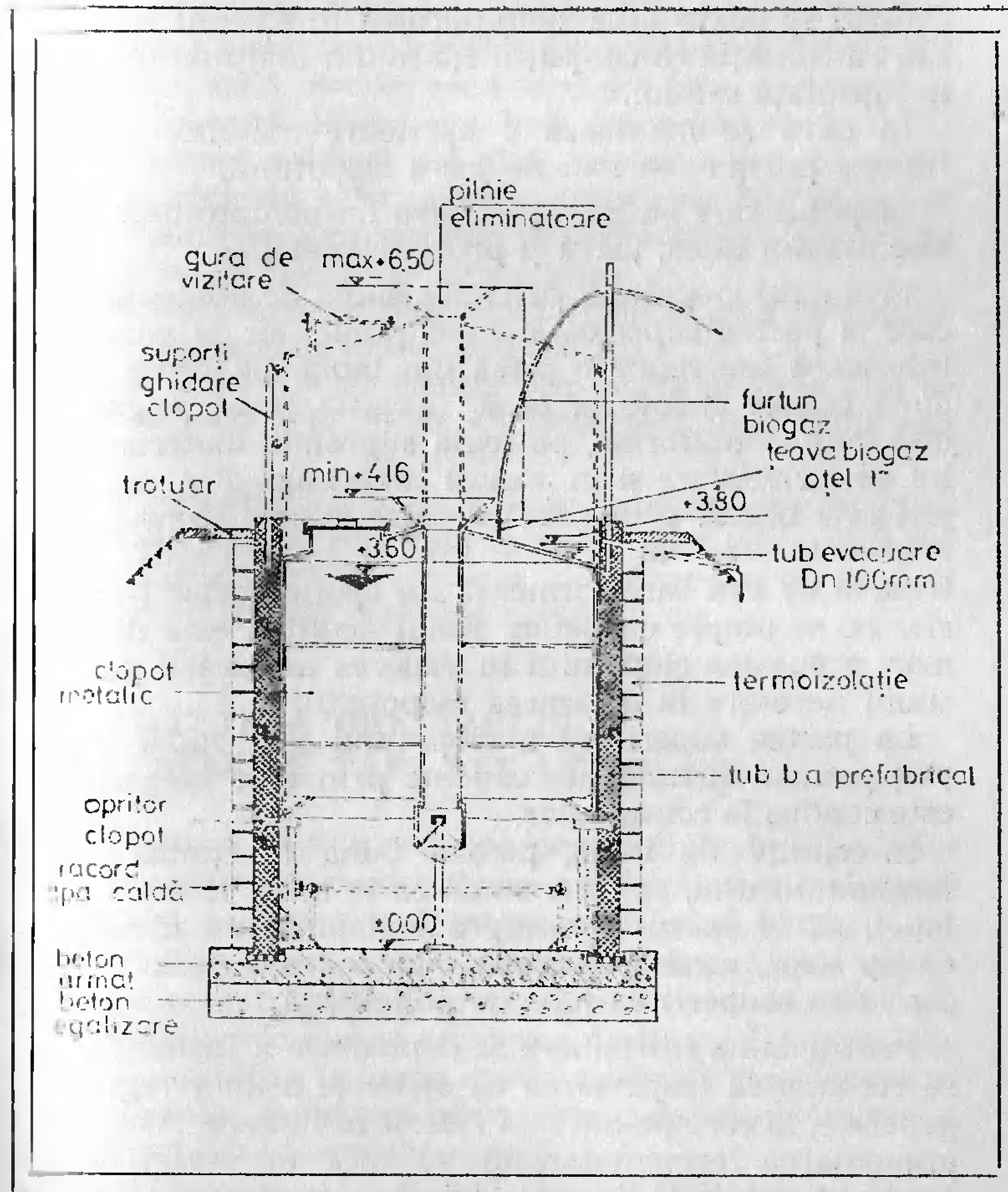


Fig. 3 — Instalație pentru producerea biogazului

Cuva se poate situa semiîngropat în terenul natural, cu condiția ca cel puțin 1,5 m din înălțime să fie la suprafața solului.

În cuvă se montează 4 opritoare metalice care fixează poziția cea mai de jos a clopotului.

Clopotul care culisează în cuva fermentatorului se execută din tablă, țeavă și profiluri metalice.

Prin axul clopotului pătrunde tubul de alimentare care la partea superioară are o pîlnie, iar la partea inferioară are fixată o piesă din tablă, în formă de două conuri sudate la bază ; această piesă asigură distribuirea uniformă, pe toată suprafața materialului de fermentare și în același timp împiedică degajarea de bioxid prin tubul de alimentare. Montarea clopotului are un rebord inferior sub formă de trunchi de con care formează un spațiu inelar interior ce se umple cu beton. Rolul acestuia este de a mări greutatea clopotului în vederea asigurării presiunii necesare la utilizarea clopotului.

La partea superioară a clopotului este sudat un ștuț pentru furtunul de cauciuc prin care biogazul este condus la consumator.

În condiții de iarnă, pentru buna funcționare a fermentatorului, se recomandă ca în afara termoizolației, să se execute deasupra instalației un înveliș de tip solar, confecționat dintr-un cadru metalic sau din lemn acoperit cu folie de polietilenă.

Pentru buna întreținere și exploatare a instalației se recomandă respectarea cu strictețe a unor reguli generale, la care ne-am mai referit în lucrare. Astfel, alimentarea fermentatorului se face de preferință zilnic cu cantități de material organic, corespunzătoare capacității cuvei și potrivit unei rețete bine calculate în ceea ce privește raportul C/N.

Se va evita introducerea în fermentator (pentru diluare) a apelor provenite din spălări cu detergenți (săpun, sodă, perlan etc.), precum și a dezinfectanților (clorură de var, creolină, cloramină etc.).

În cazul scăderii pH-ului, pentru a reduce aciditatea ridicată care oprește eliberarea de biogaz se introduce în fermentator aproximativ 1 l lapte de var pentru fiecare m^3 capacitate.

Alimentarea se face atunci cînd poziția clopotului este aproape de limita inferioară.

Lichidul care se scurge prin țeava de prea plin se recomandă a fi folosit ca fertilizant în grădină sau seră.

Fermentatorul descris este omologat și funcționează cu bune rezultate în numeroase gospodării individuale sau CAP-uri din jud. Argeș, precum și la CAP Magoșoaia, sectorul agricol Ilfov.

UTILIZAREA BIOGAZULUI ÎN DIFERITE ȚĂRI ALE LUMII

O serie de programe de perspectivă ale diferitelor organisme internaționale au subliniat avantajele unui sistem de agricultură integrat, utilizînd biogazul.

Un asemenea sistem ar urmări dezvoltarea culturilor pentru hrană și producerea de proteine pe baza culturilor de alge și creșterea peștilor ; de asemenea, se va efectua tratarea apelor uzate și transformarea diverselor reziduuri (generatoare de îngrășăminte și energie sub formă de metan).

Africa, America Latină, Asia și Orientul Apropiat, posedă aproape 38% din totalul de bovine existent în lume ; deșeurile fermelor zootehnice constituind o

sursă importantă de obținere a biogazului, putem realiza ce sursă de energie neconvențională posedă aceste zone ale lumii. Aceleași continente dețin 72% din deșeurile de trestie de zahăr și 95% din cele provenite de la banane, manioc, cafea și citrice. Materie primă pentru fermentația metanică există deci în cantități considerabile.

În țări ca India, producerea biogazului în mediul rural este prioritară în politica energetică. Cercetări fundamentale și aplicate sînt efectuate în special la Centrul de cercetări pentru inginerie biochimică al Institutului indian de tehnologie.

Experiența chineză, ce folosește pe scară largă reziduurile recoltelor, deci biomasa celulozică, se situează la răspîntia activității din agricultură, zootehnie, acvacultură. Producția de biogaz în China, prezintă avantajele unei surse de energii disponibile, la scară familială și colectivă, ale unui îngrășămînt de calitate și ale posibilității de ameliorare a igienei mediului.

Înființarea de unități pentru producerea biogazului s-a făcut în China (unde programul a fost lansat în 1972) într-un ritm de 2 ori mai alert decît în India (unde programul producerii biogazului începuse din 1962).

Expansiunea programului biogazului este favorizată de anumiți factori :

— reducerea inegalităților economice — permite multor cămine procurarea unei fermentator și instalația corespunzătoare de creștere a porcinelor ;

— prin descentralizarea industrială — este posibilă construirea de mici fabrici de ciment care facilitează construirea fermentatoarelor ;

— prin utilizarea de materiale mai ieftine (pietre, tufuri vulcanice etc.) ;

— promovarea unei politici active de educare privind igiena mediului și asanarea focarelor de infecție.

O asemenea practică impune formarea intensivă de tehnicieni. Institutelor de cercetări le revine sarcina introducerii de inovații tehnice și a diverselor ameliorări privind sistemele de producere a biogazului. Activitatea aceasta, de maximă responsabilitate nu se poate desfășura cu maximum de eficiență decît în cadrul unei echipe interdisciplinare de specialiști.

În Guatemala a fost creată o societate comercială ce dispune de o unitate mobilă care produce biogaz (90 m^3/zi) și îngrășămînt organic (900 t/an) folosind deșeuri de cafea.

În Israel, o serie de asociații industriale au fost interesate în producerea biogazului începînd din 1974. Cercetări fundamentale asupra procesului de metanogeneză au fost efectuate cu participarea activă a mai multor instituții universitare și industriale de cercetare și cu sprijinul Ministerului Energiei. Cercetătorii israelieni au reușit să mărească cantitatea de biogaz produsă, obținînd un randament mai mare față de cel curent. Biogazul conținea, în medie, 62% metan și 38% bioxid de carbon. Utilizarea acestuia din urmă în sere influența favorabil culturile. Reziduul fermentației metanice conținea 12% materie solidă și servea pentru hrana peștilor, înlocuind pînă la 50% din granulele produse pe bază de cereale ce se foloseau curent. Experiențe făcute pe bovine și ovine au arătat că acest reziduu, bogat în proteine, în elemente minerale și vitamine, putea fi consumat de animale, înlocuind pînă la 25% din substanța uscată a rației alimentare.

Producerea de biogaz pornind de la fermentația metanică a deșeurilor și reziduurilor, disponibile local, este un răspuns satisfăcător la rezolvarea parțială a necesităților de energie din majoritatea localităților rurale ale țărilor lumii a treia și a celor în curs de dezvoltare. Pentru asigurarea succesului economic al instalațiilor de biogaz și a extinderii lor pe scară largă, trebuie elucidate și puse la punct o serie de probleme de natură chimică, microbiologică, tehnologică și socială.

Ameliorarea situației existente, vizează de exemplu, următoarele domenii :

— reducerea elementelor din oțel ale instalațiilor curente ;

— conceperea la parametri optimi a instalației ;

— punerea la punct a unor arzătoare eficiente ;

— încălzirea fermentatoarelor cu ajutorul energiei solare ;

— cuplarea sistemelor de producere a biogazului cu alte surse de energie neconvențională ;

— conceperea unor instalații de dimensiuni mari, atît pentru mediul urban, cît și rural ;

— utilizarea optimă a nămolului fermentat ;

— ameliorarea procesului fermentativ și degradarea primară a reziduurilor.

Se constată dificultăți relative privind adaptarea comunităților rurale la acest nou combustibil și la modul de producere a lui, în special la nivelul familiei.

Experiența arată că, de fapt, programele de popularizare, bine dirijate de către factorii de decizie, în consens cu antrenarea adeziunii populației privesc avantajul deosebit al acestei acțiuni : acoperirea necesităților cotidiene de energie și protecția mediului ambiant.

Totodată, un factor important, ce asigură eficiența funcționării instalațiilor de fermentație metanică a deșeurilor fermelor îl constituie utilizarea fracției solide ca îngrășămînt organic, deoarece calitatea îngrășămîntului după fermentare se îmbunătățește considerabil.

Deficitul existent de energie și care se află în continuă creștere și în viitor, evident, va duce la reducerea folosirii ingrășămintelor minerale.

Îngrășămintele organice asigură sporul recoltelor tot atît de bine ca și cele minerale, obținîndu-se, în schimb, cu cheltuieli reduse de energie.

Biogazul, pe lîngă metan se știe că are un procent notabil de CO_2 care, în afară de stimulator al culturilor în sere, poate servi și drept conservant pentru furaje.

Astfel, bioconversia reziduurilor fermelor este considerată o componentă importantă a sistemului biotehnic al complexului agrozootehnic. După datele verificate în țări cu tradiție în producerea biogazului (India, China, Filipine), producerea unui volum de biogaz de 1,5—2 m^3/zi este suficientă pentru o gospodărie individuală compusă din 3—4 persoane, înlocuind consumul zilnic al unei butelii lichefiate, cu perioada de folosire de 30 de zile. Pentru nevoile zilnice (gătit, încălzit) sînt necesari 3 m^3 biogaz (un arzător de bucătărie și unul pentru încălzirea unei încăperi de $3 \times 3 \times 2,3$).

Există pericolul ca biogazul, în amestec cu aerul, în prezența flăcărilor sau scînteilor să provoace incendii. Prezența dioxidului de carbon din biogaz face ca acest pericol să fie mult redus, în comparație cu gazul metan sau gazele lichefiate, Totuși, trebuie luate toate măsurile de prevenire a accidentelor, în cazul folosirii acestui combustibil.

Potrivit datelor lui I. H o l l o, publicate în 1982, prețul gazului natural pe piața mondială este de 1,55 dolari pentru 1 KJ. În condițiile Ungariei, de exemplu, biogazul obținut prin prelucrarea reziduurilor de la un complex de porcine, avînd o capacitate de aproximativ 20 000 capete sau o fermă de taurine (10 000 capete) valorează 2,2—3,5 dolari pentru 1 KJ. Astfel, în privința prețului biogazul nu poate concura cu gazul natural.

Fermentația metanică nu este apanajul doar al țărilor în curs de dezvoltare. Chiar și în Europa Occidentală, procedeul acesta suscită un interes reînnoit. Astfel, în Franța, după ce a fost abandonat un număr considerabil de instalații artizanale pentru producerea de biogaz, care au cunoscut epoca lor de glorie în timpul celui de al doilea război mondial, au fost întreprinse noi experiențe începînd din 1975 în cadrul Institutului Național de Cercetare Chimică Aplicată.

În cadrul acestor studii s-a urmărit precizarea condițiilor reluării acestei tehnici în stadiul actual al dezvoltării țării în domeniul zootehnic. Comisariatul francez de energie solară a hotărît în 1981 să întreprindă operații de difuzare și promovare a instalațiilor de biogaz în mediul rural.

PRODUCEREA DE HIDROCARBURI DE CĂTRE PLANTE (PLANTE „PETROLIFERE“)

Se cunoaște că majoritatea plantelor înmagazinează energia luminii solare, captată prin fotosinteză, sub formă de zaharuri simple (glucoză, zaharoză) sau polimerizate (amidon, celuloză). Există însă unele plante care produc hidrocarburi, combinații chimice cu carbon și hidrogen. Exemplul cel mai cunoscut este *Hevea brasiliensis,* arborele de cauciuc care produce latex, o emulsie de 1/3 hidrocarburi la 2/3 apă. Dar pe lîngă această specie mai sînt și altele care produc hidrocarburi ; ele fac parte din familia euforbiaceelor. Există sute de euforbiacee, care cresc în diferite zone climatice fiind atît plante de talie mică, cît și arbuști sau arbori.

Ideea de a utiliza euforbiacee ca sursă de carburant nu este nouă : o primă aplicare, de această natură, o găsim însă din preajma anilor 40. Italienii, după cucerirea Etiopiei pe care o credeau o țară bogată în petrol, au constatat contrariul. În schimb, au descoperit păduri de *Euphorbia abyssinica,* plantă care are aspectul unui cactus și care produce un latex, din care se poate extrage printr-un tratament chimic simplu și ieftin, un lichid asemănător ben-

zinei. Așa s-a născut în 1938 rafinăria de la Agodat, în centrul unei păduri de euforbii.

O echipă condusă de profesorul M e l v i n C a l v i n, laureatul premiului Nobel pentru cercetările lui în domeniul fotosintezei, a identificat cîteva euforbiacee deosebit de promițătoare care cresc în S.U.A. Dintre acestea, *Euphorbia lathyris* cunoscută sub numele de laptele cîinelui, crește peste tot în lume, inclusiv la noi.

Cercetătorii americani din echipa prof. C a l v i n, au studiat această plantă în tot cursul perioadei ei de vegetație și au determinat momentul cel mai favorabil pentru recoltarea ei și anume în luna septembrie, cînd conținutul ei în hidrocarburi este cel mai ridicat. Producția energetică la hectar, în condiții obișnuite, adică fără a interveni în ameliorarea randamentului, este de 25 barili hidrocarburi/ha (1 baril = 159 l). Japonezii, care nu au deloc petrol în subsolul lor, obțin chiar mai mult : 40 barili/an/ha la o plantație pilot din Okinawa.

Prețurile de cost ale sevei de euforbiacee sînt relativ ridicate : 40 $/baril de benzină rafinată, adică cu 15 $ mai mult decît prețul actual al carburanților (este vorba de anul 1980). Dar, M. C a l v i n a observat că hidrocarburile euforbiaceelor, compuse în special din terpene primare cu C_{15}, produc prin scindare aceiași compuși ca și gudronul sau bitumul ; ori, naftul costă 50 $/baril, ceea ce face ca hidrocarburile obținute din euforbiacee să devină totuși competitive. Prin trecerea la stadiul industrial este probabil ca, în cîțiva ani, să se ajungă la 75 barili/ha la prețul de 20 $/barilul, preț care în anii viitori va fi în mod sigur inferior celui atins de carburantul brut fosil.

Altă euforbie care se găsește în stare sălbatică în Brazilia și în insula japoneză Okinawa este *Euphorbia tirucalli*, interesantă din punct de vedere energetic, fiind apropiată ca productivitate de *Euphorbia lathyris*.

Și în Franța, pe plantații experimentale tot *Euphorbia lathyris* a dat cele mai bune rezultate, nu numai pentru că rezistă bine la frig ci și pentru vigoarea ei remarcabilă care permite răsădiri reușite în proporție de 100%.

Valorificarea acestor specii terestre de plante superioare, bogate în hidrocarburi care s-ar putea substitui petrolului, ar putea prezenta interes mai ales în vederea extragerii de materii prime utilizabile în industria petrochimică. Însă, concentrația de hidrocarburi, la speciile acestor plante superioare în raport cu greutatea plantei întregi, se lovește de rentabilitatea economică redusă și de dificultăți legate de dispunerea de plantații insuficient de întinse.

Și în această direcție se pare că algele oferă cîteva perspective interesante. Astfel, o algă unicelulară *Botryococcus braunii* conține hidrocarburi, între 15% pînă la 75% din greutatea ei uscată, în vreme ce la plantele superioare, această concentrație este de 1%. Această algă de apă dulce salmastră se regăsește mai degrabă în regiunile cu climat temperat decît în cel tropical, unde multiplicarea sa în adîncimea apei poate fi spectaculară.

Alga se prezintă sub două forme care se disting prin pigmentarea lor verde și roșie și prin hidrocarburile sintetizate. Forma verde conține hidrocarburi liniare cu număr impar de atomi de carbon (25—31) și sărace în legături duble ; forma roșie cuprinde hidrocarburi avînd 34—38 atomi de carbon și bogate

în legături duble. Semnificația exactă a acestor două forme este studiată de către cercetătorii laboratorului de chimie biorganică și organico-fizică de la Școala națională superioară de chimie din Paris, care au luat în studiu, după 1976, alga *B. braunii*. S-a observat că hidrocarburile se acumulează în peretele celulelor și că sinteza lor constituie activitatea metabolică a algei în faza ei de creștere.

Aceste observații lasă să se întrevadă posibilitatea de extragere a hidrocarburilor prin centrifugare, fără a fi strivite celulele care după recuperarea hidrocarburilor, pot fi din nou repuse în mediul de cultură. Modificînd condițiile de cultură (temperatură, lumină) și compoziția mediului (săruri minerale) cercetătorii francezi au reușit să obțină o biomasă dublă în două zile, în loc de o săptămînă, cu celule care în stare uscată prezintă hidrocarburi în procente de 35% din biomasa lor. Un altfel de rezultat echivalează cu o producție de 0,09 g hidrocarburi la litrul de mediu de cultură pe zi sau cu o producție de 60 tone/ha/an pentru o cultură de alge făcute în condițiile unui bazin de apă natural sau artificial.

Compoziția hidrocarburilor produse de către *B. braunii* face posibil ca ele să servească drept sursă de energie sau de materii prime pentru petrochimie, fie direct sau în urma unei operații ușoare de cracare.

Sînt în curs de cercetare problemele legate de exploatare în masă a culturii și elucidarea rolului bacteriilor care trăiesc în asociație cu alga și care favorizează producția anumitor hidrocarburi. De asemenea, lupta contra speciilor de alge concurente și împotriva paraziților în condiții naturale, precum și

controlul factorilor de mediu, necesari obținerii unei producții optime, sînt în atenția cercetătorilor.

Obstacolele de natură economică sînt la fel de importante și de aceea cercetătorii francezi estimează o orientare către utilizarea hidrocarburilor obținute din alge la fabricarea unor substanțe cu valoare ridicată, de exemplu produși farmaceutici sau cosmetici, unde costul materiei prime este destul de ridicat.

Studiul acestor probleme și ameliorarea randamentului culturilor sînt facilitate de o instalație-pilot de cultură (Centrul de studii nucleare de la Cadarache din sud-estul Franței), unde algele sînt cultivate în tuburi de material plastic transparent, ce conțin mediul nutritiv și captează radiația solară (un sistem asemănător cu cel utilizat pentru cultura algei *Spirulina*).

Cercetările privitoare la extragerea și utilizarea hidrocarburilor din *B. braunii* pot, de asemenea, contribui la înțelegerea genezei petrolului.

Combustibilii fosili provin dintr-o transformare lentă în sedimente, a materiei organice, care suferă o degradare progresivă și al cărui reziduu se polimerizează pentru a forma o substanță insolubilă numită kerogen. Această substanță se transformă în continuare sub efectul temperaturilor ridicate și a presiunii ; kerogenul pierde în aceste condiții oxigenul și se îmbogățește în carbon și hidrogen. Cercetătorii francezi au propus folosirea peretelui celular de la *B. braunii* ca model pentru simularea, sub efectul temperaturii, a degradării kerogenului în petrol. Dacă se va putea simula geneza combustibililor fosili, ar deveni posibilă determinarea gradului de evoluție a kerogenului extras din rocile marine și de a evalua apoi potențialul în petrol al acestor roci.

Toate aceste exemple, și am insistat asupra algei *B. braunii* pentru că prezintă un interes deosebit, dovedesc puterea energetică extraordinară de care dispun plantele. Este rîndul oamenilor să reușească exploatarea rațională a „energiei verzi“ într-o manieră mult mai fericită decît au făcut-o în privința „energiei fosile“, care acum începe să se „răzbune“.

ENZIME ȘI PROTEINĂ PRIN BIOCONVERSIA PRODUȘILOR FOTOSINTEZEI

BIOCONVERSIA AMIDONULUI

Amidonul constituie principala substanță de rezervă a plantelor. În cantitate mai mare, el se găsește depozitat, sub formă de granule în tuberculi, semințe și chiar în părțile lemnoase ale plantelor ; în cantitate mică, apare aproape în toate organele vegetale. Granulele de amidon diferă după structură și formă la diferitele specii de plante.

Fiind ca și celuloza un glucan, proprietățile chimice ale amidonului sînt asemănătoare cu ale celulozei.

Amidonul natural are două componente : amilază (22—26%) și amilopectină (74—78%).

Macromolecula amilazei este formată din resturi de glucoză unite între ele, alcătuind un lanț linear neramificat. Spre deosebire de amilază, macromoleculele amilopectinei au structură ramificată.

Mecanismul degradării amidonului, respectiv a amilazei și amilopectinei este lămurit în cea mai mare parte.

La baza procedeelor de transformare a materiilor prime vegetale ce conțin amidon stă folosirea microorganismelor și a enzimelor.

Enzimele se găsesc numai în organismele vii, reglînd procesele vitale ale acestora. În natură, microorganismele produc diferite enzime necesare vieții lor. În condiții tehnologice adecvate, aceste microorganisme pot fi dirijate să producă enzime, într-un timp mai scurt și în cantități mai mari, decît în condiții naturale.

În țara noastră, în cadrul Institutului de energetică chimică și biochimică, pe baza unui program sistematic, lucrează un colectiv care a pus bazele teoretice ale acestei cercetări de obținere a enzimelor cu ajutorul microorganismelor.

Degradarea enzimatică a amidonului este un proces de mare importanță teoretică și practică.

În natură, se găsesc răspîndite enzime care acționează în mod diferit asupra amidonului, ducînd la diferiți produși de degradare.

În cadrul celor 3 tipuri de degradare enzimatică a amidonului vom defini pe cea mai importantă, și anume hidroliza enzimatică.

Hidroliza enzimatică unde agentul hidrolizant propriu-zis este apa, are loc în prezența enzimelor numite amilaze, răspîndite în toate organele plantelor ce conțin amidon.

Scindarea hidrolitică a amidonului, în funcție de specificitatea substratului este catalizată de amilazele α și β și de glucoamilază.

Această scindare decurge în cîteva etape, în cursul cărora sînt desfăcute moleculele ambelor componente ale amidonului.

Scindarea amilazei de către β-amilază este cea mai simplă modalitate de hidroliză enzimatică a amilazei, aceasta din urmă, hidrolizîndu-se integral pînă la maltoză.

Enzimele amilolitice catalizează scindarea amidonului și a glicogenului (poliglucid de rezervă răspîndit mai ales în regnul animal, în regnul vegetal este întîlnit în special la plante inferioare). În ultimii ani aceste enzime au atras tot mai mult atenția cercetătorilor din lumea întreagă.

Extinderea ramurilor industriale ce folosesc enzime amilolitice determină un interes constant față de acestea. Sursa de bază, dar și de perspectivă în obținerea enzimelor, inclusiv a celor amilolitice rămîn microorganismele. Se știe că ciupercile de mucegai, drojdiile, bacteriile și actinomicetele posedă capacitatea de sinteză a enzimelor amilolitice.

Biosinteza dirijată a anumitor grupe de enzime este posibilă numai în condițiile studierii multilaterale a mecanismelor de reglare a sintezei lor. Aceste mecanisme asigură coordonarea activității metabolice a diferitelor sisteme de enzime și permit celulei să folosească economic și substanțele nutritive.

Condițiile de cultură a microorganismelor au o influență hotărîtoare asupra sintezei enzimelor de către acestea. Dintre condițiile mai importante amintim : temperatura, valoarea pH-ului, gradul de aerare.

Producerea preparatelor pe bază de enzime microbiene s-a dezvoltat acum în numeroase țări la scară industrială.

În legătură cu deficitul și creșterea prețurilor proteinei animale, în ultimul timp, o atenție deosebită se acordă obținerii proteinei microbiene.

În ceea ce privește compoziția, proteina microbiană este superioară celei vegetale și se apropie de proteina animală. În afară de aceasta, microorganismele cresc de sute de ori mai repede decît cele mai productive plante și de o mie de ori mai repede decît cele mai productive animale, acumulînd pînă la 60% proteină brută din masa lor uscată.

Drojdiile furajere, obținute industrial, conțin la o tonă de 5 ori mai multă proteină brută, de 9—11 ori mai multă lizină, de 5—7 ori mai multă metionină, de 2—4 ori mai mult triptofan față de cît conține o tonă de orez sau ovăz. În aceste drojdii sînt prezente vitaminele din grupa B și diferiți factori ce stimulează creștera și metabolismul.

O cale de perspectivă, în vederea obținerii proteinei microbiene este bioconversia directă a produșilor fotosintezei, adică a resturilor vegetale și a materiilor prime secundare, provenite din agricultură și din industria alimentară.

Ca producători de proteină microbiană se folosesc în special drojdii, de asemenea, bacterii și ciuperci de mucegai. Acestea din urmă, comparativ cu drojdiile sînt capabile să asimileze un spectru mai larg de glucide, inclusiv polizaharide și amestecuri de zaharuri. De aceea, ciupercile ar fi rațional să fie utilizate pentru obținerea proteinei în cazul prelucrării substraturilor heterogene.

Deseori, în cazul obținerii proteinei din substraturi heterogene, inclusiv care conțin amidon, se folosește creșterea în amestec a culturilor microbiene, ceea ce permite folosirea, în mai mare măsură a componentelor substratului, utilizarea unor medii nutritive mai simple ca compoziție, avînd loc procese, în care o cultură folosește produși de metabolism ai alteia ; în acest caz este posibilă obținerea unui conținut mai ridicat în proteină, precum și a altor componente prețioase ale biomasei. În multe cazuri, folosirea reziduurilor, ce conțin amidon, la obținera proteinei, este importantă și pe plan ecologic. Astfel, după prelucrarea cartofului rămîn ape reziduale ce conțin polizaharide. Pentru folosirea lor, o dată cu epurarea apelor reziduale sînt elaborate metode de obținere a proteinei microbiene. Un proces folosit în Suedia este bazat pe înlocuirea hidrolizei acide cu cea enzimatică. Esența procesului constă în faptul că, pe reziduurile de la prelucrarea cartofului, succesiv sînt crescute două culturi de drojdii : în primul rînd *Endomycopsis fibuligera* ce produce enzime amilolitice și care hidrolizează amidonul pînă în zaharuri, iar în al doilea rînd, *Candida utilis* ce folosește zaharurile. Preparatul obținut este destinat ca adaos la hrana porcilor și păsărilor.

Un proces analog, cu folosirea acelorași culturi se practică în Franța. Ambele procese permit să se obțină un efect notabil în cazul folosirii lor pentru purificarea apelor reziduale.

În Anglia au fost efectuate cercetări privind posibilitatea utilizării secundare a deșeurilor din industria alimentară cu ajutorul drojdiilor.

Introducerea metodei de proteinizare a materiei brute, ce conține amidon, depinde în primul rînd de succesele obținute pe planul utilizării tehnologice.

În viitor, va fi posibil ca acest procedeu să se aplice chiar în cadrul secțiilor de furajare a fermelor zootehnice mari.

OBȚINEREA PREPARATELOR COMPLEXE ENZIMO-PROTEICE

O rezervă însemnată a creșterii productivității animalelor o constituie folosirea rațională a furajelor.

Cheltuielile pentru hrană ocupă ponderea cea mai mare în cadrul cheltuielilor generale. În consecință, creșterea coeficientului de folosire a furajelor este o condiție importantă. Chiar în cazul unei bune hrăniri, s-a stabilit că aproximativ 30—35% din substanțele nutritive ale rației alimentare trec prin tractul gastrointestinal fără a fi digerate. Aceste pierderi pot fi micșorate, mărind gradul de digerare al furajelor pe seama folosirii preparatelor enzimatice microbiene. Cercetări numeroase au dovedit că adăugarea enzimelor hidrolitice în furaje combinate și premixuri determină creșterea în greutate a animalelor și păsărilor în medie cu 10—15% și reducerea cheltuielilor pentru furajare cu 5—7% la 1 kg spor în greutate.

În ultimii ani, în U.R.S.S., se efectuează cercetări de îmbogățire cu enzime a materiilor prime vegetale care conțin amidon. Preparatele obținute pot fi folosite la îmbunătățirea asimilării furajelor brute ce conțin amidon și celuloză sau pot fi incluse direct în rația de furaj pentru animalele domestice.

În scopul obținerii preparatelor complexe enzimo-proteice cu activitate glucoamilazică, s-au folosit atît culturi în amestec, cît și monoculturi. Avantajul cultivării în amestec a microorganismelor din diferite grupe taxonomice a fost evidențiat de numeroși autori. Cultivarea în amestec a microorganismelor producătoare de glucoamilază și celulază, pe mediu cu zer de lapte și amidon, permite obținerea unui mediu lichid de cultură cu activitate enzimatică ridicată, într-un termen relativ scurt.

Cu fiecare an, în întreaga lume, crește volumul de folosire al preparatelor enzimatice în diferite ramuri ale economiei naționale, în special în zootehnie. Apare deci necesitatea producerii unor preparate mai ieftine, prin procedee tehnice mai simple.

Totodată se pune și o altă problemă : creșterea conținutului în proteină din substraturile vegetale, folosite ca materie brută pentru cultura producătorilor (microorganisme producătoare de enzime).

De aceea, în ultimii 10 ani, a crescut din nou interesul față de metoda cultivării microorgonismelor în fază solidă. Această metodă permite obținerea de preparate enzimatice cu un spectru mai larg, ceea ce este foarte important în cazul hidrolizei enzimatice a materialelor vegetale cu compoziție chimică complexă.

Produsul final, în afara enzimei propriu-zise și a biomasei producătorului (microorganismele producătoare de enzime), conține componente ale mediului neutilizate, precum și produșii de metabolism ai microorganismelor, a căror introducere în furaj nu numai că îmbunătățește digerabilitatea furajelor, dar ridică și valoarea lor nutritivă.

Este evident avantajul folosirii preparatelor complexe enzimo-proteice, dacă se ia în considerare prețul relativ scăzut și economia de mijloace furajere, pentru obținerea unui spor considerabil în greutate al animalelor.

În prezent, omul are la dispoziție microorganisme nepatogene destul de multe și bine studiate, cu activitate amilazică ridicată. Folosind metodele biotehno-

logiei moderne, devine posibilă realizarea bioconversiei substratelor ce conțin amidon, atît în scopul hidrolizei polizaharidelor cît și al îmbogățirii cu proteină microbiană a materiei brute vegetale, ce conține amidon.

BIOCONVERSIA MATERIALELOR LIGNO-CELULOZICE

O altă categorie de produși vegetali care prin bioconversie constituie o sursă de proteină sînt materialele ligno-celulozice. În prezent această bioconversie se poate realiza numai prin creșterea microorganismelor pe aceste materiale folosite ca substraturi.

Produsele desfacerii substratelor ligno-celulozice sînt larg răspîndite în natură. Este vorba de procesele de descompunere a resturilor organice vegetale în sol sau în grosimea stratului acestor resturi pe sol. Datorită aerării slabe, procesele acestea decurg foarte lent.

Bioconversia eficientă a materialelor ligno-celulozice în scopul obținerii proteinei are loc prin intensificarea acestui proces de cîteva ori.

În esență, bioconversia celulozei se reduce la 2 grupe de procese biochimice : hidroliza celulozei de către enzime și creșterea celulelor pe produșii de hidroliză.

Ligninele, substanțe ce însoțesc aproape întotdeauna celuloza, în diferite organe ale plantei, ocupă după celuloză, locul al doilea în scara reprezentării cantitative a substanțelor organice de origine vegetală.

Asocierea intimă a ligninelor cu celuloza și alte substanțe a constituit o piedică în izolarea lor. Cunoașterea structurii lor exacte constituie, în continuare, o preocupare a biochimiei. Ligninele izolate din diferite plante n-au structură identică. Ele conferă membranei celulare o și mai mare soliditate, mărind rezistența la hidroliză a materialelor vegetale ce le conțin.

Paiele conțin aproximativ 75% glucide, dar datorită prezenței ligninei digerabilitatea și valoarea lor nutritivă sînt relativ scăzute.

Totuși, ca material de bioconversie în proteină, paielor li se acordă atenție în prezent pentru că acest substrat, ca subprodus al recoltelor, nu-și găsește o utilizare completă, iar deficitul în proteină rămîne factorul ce frînează dezvoltarea zootehniei.

Plecîndu-se de la principiul că toate produsele naturale rezultate din procesele fotochimice și de biosinteză să fie valorificate, în cadrul programului de cercetări inițiat de Consiliul Național de Știință și Tehnologie din țara noastră, utilizarea lignocelulozelor vegetale stă în atenția specialiștilor.

FRACȚIONAREA MASEI VERZI A PLANTELOR ÎN VEDEREA BIOCONVERSIEI COMPONENTELOR

Masa organică regenerabilă se produce deosebit de intens în sfera agriculturii. În privința recoltei, a procentului în proteină, a cheltuielilor obligatorii de muncă și energie, se remarcă a fi rentabile ierburile perene, în special leguminoasele (lucerna, trifoiul etc.).

În condiții climatice favorabile, de pe 1 ha, se pot obține într-un sezon, pînă la 12 tone masă organică uscată, ce conține pînă la 2 tone proteină.

Masa verde a plantelor, pe lîngă un conținut relativ ridicat de proteină (pînă la 20% substanță uscată) este bogată și în celuloză (25—30%) ceea ce exclude folosirea pe scară largă a ierburilor pentru hrana porcilor și a păsărilor. În privința erbivorelor, ierburile constituie pentru ele furajul principal. S-a constatat, că în perioada de vară, în iarba tînără se găsește un surplus de proteină, ceea ce obligă găsirea de surse suplimentare de glucide, pentru a echilibra furajul, de exemplu, al vacilor pentru lapte. Aceasta pledează pentru faptul că din masa verde se poate prelua 20% din proteină, fără a aduce vreun prejudiciu calității hranei erbivoarelor.

Problema producerii concentratelor proteice din plantele verzi suscită un interes crescînd.

În 1937, în Anglia, R. E. Slade a subliniat avantajul deosebit în cazul obținerii concentratelor proteice din plantele verzi, pentru animalele nerumegătoare și împreună cu J. H. Birkinshow a obținut patentul asupra procedeului de precipitare a proteinei din frunzele plantelor, folosind o soluție slab acidă.

În 1938, C. Goodall a obținut primul patent de fracționare a masei verzi a plantelor folosind presa cu valț pentru producerea făinii din iarbă. Acest lucru a permis ridicarea productivității agregatelor de uscare și obținerea, în același timp, a sucului vegetal, în vederea prelucrării lui, în concentrate furajere și alimentare.

Experiențe pe scară largă de fracționare a plantelor verzi pe bază industrială a început în deceniul patru al secolului nostru. Un centru special de cercetare a fost organizat, în această perioadă, în Anglia sub conducerea lui N. W. Pirie. Au fost studiate diferite tipuri de aparate de mărunțit și metode de extragere, care să asigure o cît mai completă extracție a proteinei din plante.

Pirie a considerat că prețul proteinei vegetale pentru hrana omului poate fi chiar de patru ori mai mic decît al proteinei din carne. Totuși, posibilitățile tehnice ale acelor ani nu au permis realizarea proiectelor.

În aceeași perioadă, experiențele de obținere a pastei proteice vitaminizate din plantele verzi a început și în U.R.S.S. sub conducerea lui A. A. Zubrilin. El a elaborat tehnologia industrială de obținere a unui produs cu un conținut ridicat în carotină și a altor substanțe active biologic, ce pot fi utilizate în scopuri terapeutice.

Au fost studiate : compoziția chimică a produsului, metodele conservării și păstrării lui, randamentul în funcție de productivitate, stadiile de vegetație și tipurile de materii prime inițiale.

La începutul deceniului cinci, în Anglia, tot N. W. Pirie a elaborat linia tehnologică de fracționare a plantelor verzi. Productivitatea liniei era de 4—6 t/ha în cazul prelucrării furajelor suculente (partea aeriană a sfeclei de zahăr, varză ș.a.) și 1 t/ha în cazul prelucrării ierbii.

Lucrări de perfecționare a tehnologiei, în vederea obținerii concentratelor de proteină furajeră și alimentară s-au desfășurat de asemenea în S.U.A. A fost elaborat procesul tehnologic „Proxan“ ce se deosebește de tehnologia lui Pirie prin faptul, că nu își propune să extragă din plantă cantitatea maximă de extract (suc) și proteină, principalul scop fiind ridicarea productivității instalației de uscat, în cazul producerii făinii din iarbă. Scăderea conținutului în proteină în prese, în acest caz,

reprezintă aproximativ 10% (prin tehnologia lui Pirie, produsul sărăcea în proteină 30%). În același timp, în Ungaria, se folosește procedeul conceput de H o l l o și K o c h. Acesta se deosebește de celelalte procedee prin faptul că pe fracția neproteică a extractului se cresc drojdii furajere, îmbogățind produsul proteic de bază.

În U.R.S.S., cercetările de perfecționare a tehnologiei și aparaturii pentru fracționarea masei verzi a plantelor se desfășoară în numeroase institute.

Procesul fracționării masei verzi a plantelor în scopul obținerii concentratului proteic constă în esență din cîteva operații tehnologice. Astfel, plantele verzi cosite în stadiul în care masa verde are un conținut maxim de proteină tocate brut, se transportă la instalația de recepție a liniei de fracționare ; aici, masa este mărunțită suplimentar pe tocătoare mecanice și apoi trecută prin prese mecanice cu valț sau șnec pentru separarea sucului. Borhotul din prese este trecut pe agregate de uscare, cu pregătirea ulterioară a făinii. Extractul obținut din presă se încălzește imediat (pentru separarea concentratului proteic) în recipiente speciale sau prin injectare cu abur pînă la temperatura de 80—85°C.

Fracția proteică coagulată astfel se separă cu centrifuga decantoare sau prin prese cu filtre. Pasta proteică se granulează și se usucă în uscătorii convexe sau se diluează cu apă și se usucă pe uscătoare pulverizatoare.

Fracția neproteică a sucului (sucul cafeniu) este folosit fie la udarea în cîmp, fie ca mediu nutritiv pentru cultivarea drojdiilor sau se fierbe și se folosește ca adaos la borhotul uscat (făină de iarbă).

Așa cum arată analiza economică a proceselor tehnologice curente, stadiile coagulării proteinei și a

uscării pastei proteice, sînt cele mai costisitoare din punct de vedere al energiei : se cheltuiește pînă 60% din energia necesară pentru întreg procesul. Se fac experimentări în vederea găsirii unor variante tehnologice mai simple și mai puțin costisitoare.

La o firmă franceză, pentru separarea fracției neproteice a sucului sînt create și se folosesc instalații de vaporizare, ce funcționează folosind ca transportor de căldură aburul de la uscătoarele storcătoarelor.

Altă firmă producea furaj cu ajutorul storcătoarei, ambalîndu-l apoi în saci de polietilenă unde avea loc coacerea (maturația) lui.

M. A. S t a h m a n n (S.U.A.) a propus o metodă biologică de fermentație anaerobă a sucului vegetal de către microflora naturală a plantelor ; în acest caz, are loc scăderea pH-ului mediului și coagularea proteinei. În U.R.S.S. metoda biologică de separare a proteinei din suc, a fost pe larg studiată în cadrul Institutului de Microbiologie din R.S.S. Letonă precum și a altor unități de cercetare implicate în programul complex „Transformarea produșilor fotosintezei".

MICROFLORA MASEI VERZI A PLANTELOR

Obținerea concentratelor proteice din masa verde a plantelor, pe cale microbiologică, se bazează pe folosirea proceselor activității vitale a microorganismelor epifite, ce ajung în suc prin fracționarea masei verzi. Se știe, că organele aeriene ale plantelor sînt populate de o cantitate enormă de microorganisme din cele mai variate specii, cu însușiri și activitate biologică diferite.

Astfel, în primul rînd sînt bacterii amonificatoare, nitrificatoare, denitrificatoare, aerobe, bacterii ce descompun celuloza, precum și bacterii din grupa bacilului coli. Dintre acestea, o mare parte formează pigmenți. Pigmenții, după cum se știe, protejează celulele de acțiunea brutală a radiațiilor solare. În microflora epifită a plantelor domină bacterii din genul *Pseudomonas, Mycobacterium, Chromobacterium, Micrococcus, Bacillius*, ș.a.

Compoziția microflorei ce populează părțile aeriene ale plantelor, este determinată de condițiile specifice ale mediului ambiant, fiind dependentă de specia și vîrsta plantei, perioada anului ; este de asemenea, în corelație cu cantitatea și conținutul substanțelor eliminate din plante.

Un loc important în flora epifită, îl ocupă drojdiile, al căror număr crește pe măsura maturării plantelor. Cel mai des, pe plante se întîlnesc drojdii din genurile *Rhodotorula, Debaryomyces, Candida, Cryptococcus, Sporobolomyces, Schizosaccharomyces* ș.a.

În cazul fermentării sucurilor vegetale ce constituie substratul bogat în glucide, rolul principal îl joacă asociațiile de microorganisme, ce fermentează activ glucidele, în special bacteriile ce formează acizi. Dintre acestea, rolul de bază îl au bacteriile acidolactice. Totuși, aceste bacterii de pe suprafața diferitelor plante, ce cresc în toate zonele ecogeografice, se întîlnesc în cantități relativ mici. Conținutul lor în microflora epifită, variază de la cîteva sute pînă la zeci de mii, sau milioane, pe 1 g masă vegetală, în funcție de specia de plantă, faza ei de dezvoltare, locul de creștere și condițiile pedo-climatice.

O serie de cercetători din U.R.S.S. au stabilit, că pe plantele de cultură, se întîlnesc mai multe bacterii acidolactice, decît pe plantele spontane.

O influență esențială asupra conținutului în bacterii acidolactice din asociațiile microflorei epifite o are locul de creștere al plantelor.

În apropierea punctelor populate numărul acestor bacterii este mai mare decît în zonele îndepărtate de populație. Bacteriile acidolactice se întîlnesc pe plante, în cantitate mai mare, cînd acestea sînt înainte de înflorire. Populînd plantele, ele preferă o căldură moderată, cer noros, o umiditate relativ ridicată, presiune scăzută, absența vîntului, evaporare redusă. Cantitatea de bacterii acidolactice, crește pe plantele tăiate. Ofilirea materiei prime frînează dezvoltarea celorlalte microorganisme pentru că cel mai intens se dezvoltă bacteriile acidolactice. După ploi puternice și de lungă durată numărul acestor bacterii pe suprafața plantelor scade.

Compoziția specifică a bacteriilor acidolactice găsite în microflora epifită este destul de variată.

Formele bacilare predomină față de coci.

Dintre bacilii acidolactici un număr mare îl constituie speciile homofermentative *Lactobacillus plantarum, L. brevis, L. fermenti, L. casei*. Printre cocii acidolactici cele mai frecvente specii au fost *Streptococcus lacti* și *S. cremoris* — în zonele irigate, *S. faecalis* și *S. mesenteroides*. Coci heterofermentativi se întîlnesc din genul *Leuconostoc*. Compoziția specifică a bacteriilor acidolactice în microflora epifită depinde de anotimp : în lunile de vară, pe plante predomină cocii, iar toamna, formele bacilare.

Bacteriile acidolactice se deosebesc și prin activitatea biochimică. Alături de tulpini active ce for-

mează acizi se întîlnesc cele cu activitate redusă. Comparativ cu cocii, activitatea mai pronunțată în ce privește formarea acizilor o au bacilii.

Pe plante predomină bacteriile acidolactice heterofermentative.

Prin prelucrarea produselor agricole are loc modificarea formei bacteriilor acidolactice. Astfel, în primul stadiu al înăspririi mustului de struguri, la pregătirea vinului, se dezvoltă, în special, tulpini homofermentative. Cu încetarea fermentării în cazan, predomină tulpinile heterofermentative. La murarea verzei, fermentația acidolactică în prima fază este realizată de bacteriile acidolactice heterofermentative, ce formează alături de acidul lactic — acid acetic, etanol și bioxid de carbon. După acumularea acidului lactic pînă la concentrația 0,7—1,0% intervine a doua fază, în care are loc creșterea în continuare a concentrației acestuia. Se observă, în special, dezvoltarea bacteriilor acidolactice fermentative.

FERMENTAȚIA SPONTANĂ A SUCURILOR VEGETALE

În cazul fracționării masei verzi, cea mai mare parte a microflorei epifite trece în suc, totuși bacteriile acidogene din suc, ca și cele de pe plante sînt în cantitate redusă. De exemplu, în sucul de lucernă, bacteriile acidogene reprezintă 0,01% din asociațiile microbiene, în sucul de trifoi — aproximativ 10%, în sucul frunzelor de sfeclă de zahăr — pînă la 25%.

În cazul prelucrării sucului verde, în vederea separării proteinei vegetale se pune problema delimitării procesului de fermentație, în stadiul de formare a acizilor, pentru a preveni hidroliza proteinei. În acest scop, trebuie, în primul rînd, asigurate procesului condiții anaerobe.

În cazul fermentației spontane, în condiții anaerobe, după 12 ore de fermentare a sucului, din asociația microbiană dispar formele microbiene pigmentate, încep să predomine bacteriile acidogene, alcătuind, de exemplu, în cazul fermentării trifoiului și a părților aeriene a sfeclei de zahăr un procent de 30% și chiar mai mult. Viteza de înmulțire a bacteriilor acidogene, în sucul ce fermentează depinde în mare măsură de cantitatea de bacterii din grupa respectivă existente în asociația de microorganisme din suc, după presare, adică la începutul procesului de fermentare.

Dezvoltarea rapidă a bacteriilor acidogene din suc, împiedică dezvoltarea bacteriilor cu activitate proteolitică. În condiții anaerobe, la temperatura de 30°C, bacteriile din grupa respectivă, existente în asociație nu se mai formează după 12—24 ore de fermentație.

Comparînd dezvoltarea microflorei în condiții aerobe și anaerobe de fermentare a sucului de lucernă, se constată că în procesul aerob, dezvoltarea bacteriilor acidogene este redusă : ele reprezintă doar 16% din numărul total de bacterii. Se dezvoltă intens bacteriile aerobe, în special bacteriile cu activitate proteolitică și drojdiile. În cazul de față însă, drojdiile nu pot fi considerate ca microfloră utilă.

Datorită dezvoltării intense a drojdiilor, în condiții aerobe, sînt utilizate din mediu, nu numai substanțe reducătoare, dar și acizi ; pH-ul, în a treia zi se ridică peste 7. Sucul capătă curînd un miros ne-

plăcut, devenind necorespunzător pentru hrana animalelor.

În timpul dezvoltării intense a bacteriilor acidogene, are loc conversia activă a glucidelor în acizi și coagularea proteinei. În decursul primelor zile, în condiții anaerobe, conținutul în substanțe reducătoare din suc, de exemplu din cel de lucernă, scade ; pH-ul ajunge valoarea de 3,8—4,2, cantitatea de acid lactic 1%, suma acizilor organici reprezintă 1,5% și chiar mai mult. Datorită acumulării acizilor și scăderii pH-ului în primele 18 ore de fermentație a sucului de lucernă, în procesul anaerob, precipitatul proteic reprezintă 75—77% din maximum-ul posibil.

În condiții anaerobe, ca urmare a acțiunii microflorei epifite, sucul plantelor verzi se acrește bine spontan. Adăugînd o cultură de acumulare în suc, de exemplu amestec de ierburi, bacteriile acidogene elimină mai repede din asociație bacteriile aerobe și într-o oarecare măsură împiedică dezvoltarea drojdiilor, deși cantitatea totală de drojdii din asociație este destul de mare și se mărește cu creșterea duratei de fermentare.

Respectînd anaerobia procesului spontan, se constată că prin folosirea culturilor de *Streptococcus lactis diestaticus* și *Lactobacterium plantarum* Lj-72 pentru fermentare, acestea nu influențează esențial asupra bioconversiei glucidelor din suc în acizi. Enzimele bacteriilor, trebuie folosite în cazul cînd în microflora sucului sînt puține bacterii acidogene naturale.

OBȚINEREA COAGULATELOR PROTEICE PRIN METODA FERMENTAȚIEI ANAEROBE A SUCURILOR VEGETALE

Așa cum s-a arătat, ca urmare a dezvoltării interne a bacteriilor acidogene, în cazul fermentației anaerobe a sucului din substanțele reducătoare se formează acizi organici, ceea ce determină scăderea valorii pH-ului la 3,8—4,5.

Între aceste limite ale pH-ului, proteina din suc coagulează și treptat se depune. După datele lui M. A. Stahmann, în timpul fermentării sucului sînt inactivate saponinele, inhibitorul tripsinei și produșii de scindare a colorofilei.

În afară de aceasta, în cazul fermentației anaerobe, procesele de oxidare a acizilor grași nesaturați și a fenolilor sînt mai puțin active decît în cazul coagulării termice a proteinelor. Acest fapt influențează pozitiv atît asupra calității proteinei cît și asupra însușirilor gustative ale produsului.

Este necesar de precizat, că în cazul coagulării acide, proteina își păstrează însușirile sale naturale. După cum se știe, în cazul coagulării termice, proteinele sînt denaturate, ceea ce scade valoarea însușirilor lor alimentare și furajere.

Datorită dezvoltării microorganismelor, crește biomasa lor, care se adaugă la biomasa vegetală.

Astfel, coagularea enzimatică, în unele cazuri, determină creșterea conținutului în proteină.

Datorită faptului că proteina bacteriană este bogată în aminoacizi ce conțin sulf, în coagulatul de proteină, crește conținutul în metionină cu 10—13%.

Deoarece proteina coagulării acide are particule de dimensiuni mai mici decît coagulatele termice, separarea pastei proteice la centrifugă este îngreu-

iată. De asemenea, este îngreuiată și obținerea pastei proteice din coagulatele fermentative, în cazul filtrării. Cea mai simplă metodă, ce nu necesită cheltuieli de energie, pentru separarea pastei proteice este depunerea. Viteza sedimentării coagulului proteic, depinde de temperatură și de vîscozitatea mediului.

La temperatura camerei, în decurs de 24—48 ore, (într-un proces spontan și în 12 ore) în cazul folosirii culturii de acumulare, lichidul fermentat se separă într-un strat superior mai transparent și în sediment, grosimea acestuia din urmă reprezentînd 30—50% din grosimea lichidului. Sedimentul conține 10—20% substanțe uscate din care 35—50% o constituie proteina convențională.

Bilanțul proteic arată că pierderile de proteină în coagulat, în cazul fracționării sucului diferitelor plante, prin fermentare, diferă puțin comparativ cu metoda coagulării termice.

Deși cantitatea de proteină variază puțin, procesul coagulării fermentative este preferabil, deoarece cheltuielile de energie sînt minime.

În afară de aceasta, proteina enzimatică se îmbogățește în metionină și cistină, fiind inactivate saponina și alte combinații toxice.

Deși procesul fracționării este destul de bine studiat și în prezent, păstrarea produșilor fracționării în stare umedă rămîne o problemă esențială. Coagulatul proteic obținut prin fracționarea masei verzi are o umiditate de 60—85%, constituind un mediu prielnic dezvoltări diferitelor grupe de microorganisme. Ca urmare a activității vitale a acestora din urmă, proteinele se pot scinda în scurt timp și coagulatul își pierde valoarea furajeră. Pentru a preveni dezvoltarea florei nedorite și modificarea compoziției chimice a coagulatului, se recomandă diferite metode de păstrare. S-a constatat că pasta proteică se păstrează bine dacă se amestecă cu 6% sare fiartă sau 12—15% sfeclă de zahăr mărunțită sau 6—7% melasă sau acid acetic.

În cazul obținerii coagulatelor proteice din sucurile vegetale, prin metoda coagulării termice, rămîne sucul cafeniu ce conține 5—7% substanță uscată. Randamentul acestui suc depinde de gradul de presare a sucului verde. Dacă din masa verde de lucernă se separă 35% suc, randamentul sucului cafeniu reprezintă aproximativ 33% din masa verde; dacă se presează 50% suc, se obține 47% suc cafeniu.

Substanța uscată a sucului cafeniu conține aproximativ 20% proteină, 0,8—1,5% substanță reducătoare, precum și substanțe minerale și aminoacizi.

A fost studiată fermentația aerobă cît și cea anaerobă a sucului cafeniu. Procesul aerob este realizat de *Brevibacterium*, producător de lizină, precum și de diferite specii de drojdii.

S-a arătat, că sucul cafeniu poate servi și ca sursă de treonină, metionină și diferite vitamine.

Totuși conținutul scăzut în substanțe reducătoare din sucurile ierburilor nu permite acumularea unei cantități considerabile de lizină fără adăugarea în mediu a unor surse suplimentare de carbon.

Datele din literatura de specialitate arată că fracționarea masei verzi, este un proces de obținere a sucurilor vegetale practic lipsite de celuloză și cu un conținut în proteină de 1—3%. Din punct de vedere tehnic procesul nu este complicat și reclamă consumuri reduse de energie.

EVALUAREA PRODUȘILOR BIOCONVERSIEI MASEI VERZI A PLANTELOR DIN PUNCT DE VEDERE BIOLOGIC ȘI ZOOTEHNIC

Analiza furajelor pentru animale arată că acestea au un deficit de proteină și în special de lizină, aminoacid absolut indispensabil.

Deoarece căile tradiționale de producere a furajelor nu pot asigura cerințele crescînde ale zootehniei privind proteina furajeră, se caută noi surse neconvenționale. Dintre produșii vizați, sînt aminoacizii de sinteză, sursele de azot neproteice (uree), proteina biosintetică, substanțele izolate din materie primă vegetală — soia, șroturi de la culturile de plante oleaginoase, concentrate proteice de origine microbiană, precum și concentratele cu conținut ridicat în proteină obținute din sucul plantelor verzi, ce constituie o inepuizabilă sursă de proteină.

Metodele fracționării masei verzi a plantelor deschide noi perspective de folosire a masei verzi a plantelor în creșterea păsărilor și porcilor. Prin fracționarea masei verzi se pot obține o serie de produși ce pot fi folosiți în zootehnie. Fracția solidă bogată în celuloză — borhotul, de obicei este uscat și se prelucrează în făină de iarbă, granule sau brichete. Interesul cel mai mare pentru rezolvarea problemei proteinei îl reprezintă sucul vegetal și diferite produse obținute din el : coagulatul de proteină, concentratul verde proteic, serul ce rămîne după depunerea proteinei din suc ș.a.

Fermentația anaerobă determină atît inactivarea substanțelor nocive ale sucului, cît și asigurarea cu microfloră acidolactică a tractului digestiv al animalelor, ce exercită o acțiune benefică.

Una din problemele ce se ridică la prelucrarea masei verzi a plantelor în produși cu conținut ridicat în proteină este problema folosirii raționale a sucului neproteic sau a așa-numitului suc cafeniu.

Cultivarea drojdiilor furajere pe acest suc are ca efect creșterea conținutului în proteină al lor (H o l l o, Ungaria).

În literatura de specialitate o serie de date se referă la posibilitatea de folosire a produșilor fracționării masei verzi în cazul pregătrii înlocuitorilor laptelui smîntînit.

În ceea ce privește folosirea produșilor proteici din sucurile vegetale pentru hrănirea puilor, porcilor și viteilor se poate trage concluzia, că din punct de vedere biologic și zootehnic, concentratele proteice solide și lichide obținute din lucernă, trifoi, amestec de ierburi sau din partea aeriană a sfeclei de zahăr, sînt o sursă bună de proteină furajeră, putîndu-se acoperi 30—40% din proteina rațiilor.

În privința valorii nutritive, aceste surse de proteină sînt întrucîtva inferioare făinii de pește, dar sînt de același rang cu proteina de la soia, drojdii și șroturi. Aminoacizii limitați sînt metionina și cisteina.

Fermentația anaerobă a sucului îmbunătățește calitatea produselor proteice obținute, conferindu-le stabilitate în cazul păstrării. Hrănirea cu asemenea produse are o acțiune de însănătoșire a organismului slăbit, manifestîndu-se prin ridicarea gradului de digerare a furajelor și înlăturarea diareelor.

Așa cum am mai amintit, produsele proteice fermentate sînt avantajoase în primul rînd datorită simplității procedeelor de obținere și a cheltuielilor reduse de energie.

Rezultatele experiențelor de folosire a diferitelor biomase microbiene și a produselor agricole proteinizate în rațiile furajere demonstrează că din punct de vedere al eficienței biologice a proteinei toate aceste produse sînt apropiate de drojdii și pot înlocui adaosurile proteice tradiționale. Introducerea noilor preparate microbiene în hrana animalelor depinde de perfecționarea tehnologiei de obținere și de criterii economice.

PLASTICE DIN PLANTE

O nouă direcție de cercetare, dezvăluie posibilitatea producerii de noi materiale plastice din materii prime ce nu se bazează pe produse petrochimice. Astfel, pentru prima dată, în Anglia, s-a arătat că din materie primă vegetală se poate obține un larg sortiment de materiale plastice. În felul acesta, s-a găsit încă o modalitate de a face deosebit de utile reziduurile agricole, cu un conținut ridicat în celuloză.

Cercetările efectuate, au evidențiat că aceste plastice, de la spume foarte ușoare pînă la materiale deosebit de rezistente provin din deșeuri sau reziduuri agricole cum ar fi, frunze, tulpini, resturi lemnoase de la trestia de zahăr.

Întrucît plantele folosesc energie solară pentru a produce celuloză, ele constituie resurse regenerabile ; într-adevăr, noile materiale au fost denumite plastice „via" energie solară („Sunpowered plastics").

Principala motivație a acestei cecetări este creșterea continuă a prețului petrolului.

Cele mai multe plastice se obțin, în prezent, în lume, din diferite fracții ale petrolului și prețul lor în ultimii ani, în medie, s-a dublat.

Turnarea materialului plastic în articole finite se face cu cheltuială mare de energie; de aceea, se efectuează cercetări în vederea punerii la punct a unor variante perfecționate ale procesului cunoscut sub denumirea de *reacția turnării prin injectare* (R.T.I.).

În procesele de turnare convenționale, plasticele, stocate sub formă de granule, sînt supuse la temperaturi și presiuni ridicate, ce reclamă o mare cheltuială de energie, în cazul turnării lor în produse finite. Prin noul procedeu amintit, plasticele, în stare lichidă, sînt injectate în matrițe, avînd loc un proces mult mai rapid, la temperaturi și presiuni scăzute; în felul acesta, se face o economie considerabilă de energie.

Echipamentul tehnologic, proiectat pentru acest procedeu este mai ieftin și mai simplu decît cel utilizat în prezent. Aparatura, împreună cu proiectul folosirii deșeurilor agricole în obținerea de materiale plastice, prezintă un interes deosebit pentru multe țări în curs de dezvoltare. Se estimează că plasticele obținute pe această cale, vor putea fi comercializate în viitorul apropiat. Nu este economic să fie înlocuite plasticele cu lemn și metale, pentru că prețurile acestora cresc și mai repede.

De fapt, un efect al creșterii prețului energiei, este încurajarea folosirii materialelor plastice în construirea diferitelor componente ale autovehiculelor. În felul acesta, greutatea lor relativ redusă determină economisirea folosirii de combustibil. Astfel, noi magazine vînd plastice ieftine. Dar, în 10—12 ani, plasticele obținute din petrol vor deveni mult prea scumpe pentru această utilizare.

Gazul și cărbunele sînt alte două surse de materii prime pentru plastice, bazate pe hidrocarburi — dar prețul gazului natural este posibil să crească ca și cel al petrolului. Rezervele de cărbune vor dura mai mult, dar prețul lui va crește dacă petrolul se va epuiza. În plus, procesele de separare a hidrocarburilor dorite din cărbune și transformarea lor în propolimeri, folosesc și mai multă energie decît procesele ce folosesc ca punct de plecare petrolul. Deci apare evidentă necesitatea găsirii și valorificării unor noi materii prime convenabile.

Analizînd gama produșilor intermediari obținuți prin transformarea biomasei de către microorganisme se conturează posibilități reale, ca o parte din produșii de fermentație primară a celulozei, să fie transformați prin bioconversie asociată, în unele cazuri, cu tratament chimic — în produși importanți, din categoria cauciucului și a maselor plastice.

ALTERNATIVE PROMIŢĂTOARE. ARGUMENTE. CONCLUZII

Este un fapt cunoscut şi neliniştitor că, în a doua jumătate a secolului al XX-lea a început să se resimtă, tot mai mult, deficitul de hrană, materii prime pentru industrie, iar în ultima perioadă, în special, criza de energie. Poluarea crescîndă a mediului înconjurător ameninţă alarmant Terra. Aceste fenomene au devenit probleme majore ale omenirii. Ele sînt comentate la diferite nivele, în forumuri internaţionale. Pentru rezolvarea acestor probleme au fost întocmite o serie de programe tehnico-ştiinţifice, complexe, naţionale şi internaţionale.

Foarte firesc, gîndul omului a început să se îndrepte, plin de speranţă şi tot mai insistent, către produşii fotosintezei, ca sursă de energie ce se reînnoieşte continuu, fiind practic inepuizabilă.

Prin fotosinteză se creează anual o biomasă de aproximativ 170 miliarde tone de substanţă uscată. Acest potenţial energetic de 3×10^{21} J reprezintă de 200 ori energia inclusă în alimentaţia oamenilor şi de 10 ori energia totală, consumată în lume. Exploatarea energetică a biomasei reprezintă un procent redus în ţările dezvoltate (3,3% în S.U.A. în 1950), dar rămîne importantă pentru ţările în curs de dezvoltare (65% în Africa, 50% în India, şi 45% în America Latină).

Totuşi, studii energetice efectuate în diferite ţări, de exemplu în Franţa, bazate pe potenţialul regenerabil, au arătat că, în absenţa unor surprize pe care le-ar putea oferi ştiinţa în acest domeniu, contribuţia maximă pe termen lung a biomasei are o limită, neputînd depăşi, totuşi, o anumită valoare. Biomasa nu poate fi decît o soluţie parţială pentru problemele de energie. Bine adaptată la o utilizare descentralizată, ea nu se justifică la scară mare decît în perspectiva evoluţiei către un sistem post-industrial, economic în materii prime şi energie.

Dacă biomasa vegetală nu a intrat încă în economia energetică a naţiunilor, aceasta se datoreşte, în principal, faptului că tehnicile care permit exploatarea formidabilelor sale rezerve de energie sînt încă în stadiu de laborator. Dar acum se ştie, că există două căi principale de a descompune materialul vegetal şi de a obţine din el combustibili : calea termochimică şi mai nou, calea biochimică, bazată pe acţiunea transformărilor biochimice ale plantelor datorate microorganismelor (bacterii şi ciuperci). Este vorba de o copiere a procesului natural datorită căruia vechile păduri din carbonifer s-au transformat în petrol. Acum, se extrage alcool din fermentarea plantelor care conţin zaharuri, cum sînt sfecla de zahăr şi porumbul, iar mai recent trestia de zahăr şi maniocul. Interesul se îndreaptă în prezent şi către metode mai directe, mai simple, ca fermentarea deşeurilor agricole sau forestiere care eliberează metan în condiţii anaerobe sau fermentaţia gunoiului de grajd, care eliberează căldură la temperatură scăzută şi în condiţii aerobe.

Am discutat în această lucrare cîteva dintre filierele de transformare biochimică a biomasei vegetale, filiere care sînt acum în plină dezvoltare și despre care se consideră că ar putea produce, spre sfîrșitul secolului, o energie de 10 milioane tep, precum și un număr însemnat de substanțe valoroase pentru diverse ramuri ale economiei. În același timp, cercetătorii explorează și alte căi pentru obținerea biomasei vegetale în cantități cît mai mari.

Se cunoaște de acum, că pentru plantele terestre există o mare diferență între randamentul teoretic al transformărilor potențiale de energie de 6% la scara întregului covor vegetal de pe planetă și randamentul real al culturilor, care rareori depășește 1%, fără a mai spune că la nivelul globului acest randament este în jur de 0,1%.

Este deci necesar de a intensifica studiile asupra fotosintezei plantelor superioare terestre și acvatice și de a găsi acele mijloace care să contribuie la o valorificare optimă de către ele a energiei luminoase, astfel încît „uzina" fotosintetică să funcționeze la maximum în vederea utilizării „rentabile" a factorilor de mediu (temperatură, săruri minerale, apă, dioxid de carbon) finalizînd cu creșterea biomasei. La baza acestei căi de ameliorare a fososintezei stau cercetările interdisciplinare de genetică și fiziologie vegetală, iar impactul lor este, evident, pe termen lung. Întrepătrunderea creatoare a acestor ramuri de cercetare, în vederea valorificării optime a resurselor naturale se impune cu necesitate, avînd în vedere complexitatea problemei. Multiplicarea biomasei vegetale prin creșterea randamentului fotosintezei cu cîteva procente ar putea reduce substanțial multe din problemele grave care apasă în prezent omenirea, atît pe cele legate de necesitățile energetice, cît

și pe cele de ordin alimentar. Dar, această cale pare încă destul de dificilă, dacă ne referim la plantele terestre și în orice caz, nu așa de apropiată în timp ca rezolvare.

Algele ar putea constitui o filieră promițătoare pentru biomasa viitorului. Concurența previzibilă în utilizarea solurilor justifică toate eforturile făcute pentru a dezvolta culturile de alge la o înaltă productivitate, în mediu artificial sau în mediu marin.

Plantele acvatice, care nu cunosc stresul hidric, au un potențial de producție superior plantelor terestre, cum arată, de exemplu, zambila de apă în comparație cu porumbul. În afară de aceasta imensa întindere a oceanelor, care acoperă 361 milioane km^2 este încă neexploatată direct din punctul de vedere al producției vegetale. Se poate aminti aici de crearea acelor ferme marine de creștere a macrofitelor (alge pluricelulare și plante superioare), care în Japonia și S.U.A. sînt în plină dezvoltare.

Doi factori apasă asupra viitorului biomasei sau „energiei verzi" cum i se mai spune. Primul, îl constituie prețul ridicat al producerii biomasei, dacă ne referim la culturile specializate în acest scop. Al doilea, îl constituie imobilizarea terenurilor agricole în condițiile creșterii nevoilor alimentare ale omenirii.

Problema costului producției biomasei va fi legată în viitorii ani de evoluția costului petrolului. În ceea ce privește problema terenului, aceasta este ceva mai complexă. Desemnarea speciilor care pot crește pe terenuri marginale, sărace, neconcurente cu plantele agricole, de asemenea, cultura plantelor acvatice, ar putea diminua din greutățile impuse de problema disponibilităților legate de teren. Terenurile marginale nu pot fi utilizate în producția agricolă

fără investiții speciale fiind vorba, în general, de soluri nisipoase, sărăturate, mlaștini etc. Pentru valorificarea lor, se urmărește identificarea și crearea de genotipuri vegetale care să permită obținerea fitomasei energetice și chimizabile, eficiente pe asemenea terenuri. În acest sens, merită atenție și unele specii de pomi cum ar fi corcodușul, prunul ș.a.

Pentru țările dezvoltate, „energia verde“ nu are un caracter vital, dar aceasta nu înseamnă că exploatarea ei n-ar putea să ajute la acoperirea, în parte, a cerințelor energetice ale economiei lor. Pentru țările în curs de dezvoltare și pentru cele din lumea a treia însă, „energia verde“ ar putea conduce la o considerabilă dezvoltare a economiei lor, la reducerea datoriei lor de petrol. Pe scară regională sau locală pot fi puse la dispoziția populației diferite sisteme și procedee de producere a energiei care, în prezent, sînt încă destul de rudimentare și apropiate de cele tradiționale. În legătură cu acest ultim aspect, pe lîngă cerința perfecționării tehnologiilor existente, succesul următoarei etape, respectiv introducerea acestor noi procedee de obținere a energiei, pe scară largă, în rîndul populației, depinde de popularizarea sistematică a avantajelor ce le reprezintă noile tehnologii, din punct de vedere economic, precum și de modul cum trebuie aplicate acestea (în gospodării individuale, ferme zootehnice, cantine etc.).

În afara acestor cercetări referitoare la ameliorarea randamentului fotosintezei, la găsirea de noi specii de interes energetic și la dezvoltarea de noi tehnologii mai eficiente și mai ieftine de obținere a energiei din biomasa vegetală, trebuie remarcată o altă cale originală de cercetare, aceea referitoare la bioproducția fotosintetică de hidrogen. Ideea

constă în a reproduce „in vitro“ prima etapă a mecanismului fotosintezei, adică fotoliza apei, cu scopul de a recupera hidrogen. Dar, dificultățile în această direcție par a fi încă destul de mari.

Un fapt de necontestat, în prezent, rămîne acela, că experiența lumii științifice contemporane a dovedit posibilitatea realizării bioconversiei materialului vegetal nu numai în condițiile producției industriale, cum s-a desfășurat pe parcursul mai multor zeci de ani, în industria alimentară și potrivit normelor microbiologiei industriale, ci și direct, în sfera agriculturii. Astfel, problema folosirii complexe a proceselor bioconversiei în sfera producției agricole și a creării sistemului biotehnologic al prelucrării reziduurilor și furajelor este de mare actualitate. Se impune totodată, găsirea unor rezolvări tehnologice cît mai raționale de prelucrare a acestor deșeuri ale producției agricole sau ale industriei ce prelucrează materia primă vegetală.

În țara noastră, în urma indicațiilor secretarului general al partidului, tovarășul Nicolae Ceaușescu, Consiliul Național pentru Știință și Tehnologie a inițiat un program de cercetări în domeniul folosirii fitomasei pentru obținere de energie, biocombustibili, biocarburanți, îndeosebi furaje proteice și substanțe chimizabile.

Elaborînd încă din anul 1974 Programul de utilizare a surselor noi și refolosibile de energie, România se situează printre primele țări din lume în privința folosirii acestor surse.

Analiza asupra modului în care se acționează pentru utilizarea surselor neclasice producătoare de energie se înscrie în preocupările permanente ale conducerii partidului și statului nostru.

În Programul Național de Tehnologie, strategia privind utilizarea biomasei energetice s-a elaborat ținîndu-se seama de condițiile concrete din țara noastră. Suprafața agricolă fiind limitată pentru culturi de biomasă în scopuri energetice (putîndu-se utiliza numai unele terenuri marginale) pe lîngă noțiunea de cultură energetică se are mai ales în vedere problema valorificării energetice a subproduselor provenite din agricultură și silvicultură. Se impune o colaborare permanentă între acești furnizori de fitomasă, respectiv agricultura și silvicultura și industria chimică și cea alimentară. Pe măsura creșterii recoltelor utile, crește și cantitatea acelei părți a recoltei ce rămîne nefolosită (paie, coceni, resturi de tulpini, frunze, vrejuri etc.), ca și a unor deșeuri rezultate din prelucrări. Este necesar deci, să fie găsite modalități eficiente de utilizare a acestei părți a producției agricole, atît de importante și care este insuficient valorificată în prezent.

În cadrul Institutului de Cercetări pentru Cereale și Plante Tehnice Fundulea se desfășoară o serie de cercetări ce urmăresc stabilirea potențialului de producție al fitomasei pe care îl pot asigura condițiile pedo-climatice existente în diferite zone geografice, pentru plantele cultivate, pentru vegetația forestieră și spontană terestră, palustră sau acvatică. Se urmărește, aici, și ideea creării unor culturi bioenergetice care să realizeze sistemul cel mai eficient de captare fotosintetică a energiei solare.

O atenție deosebită trebuie să se acorde fitomasei lemnoase, mai ales conținutului ei în celuloză. Aceasta din urmă, există într-o cantitate considerabilă în corpul plantelor fiind costituentul țesuturilor de rezistență. Prin scindarea celulozei se pot obține o serie de materii prime importante. Deci,

fitomasa lemnoasă, în contextul perfecționării tehnologiilor de conversie a ei, va putea ocupa un loc important în completarea resurselor energetice de carburanți și de furaje. În prezent, se efectuează studii la Institutul de Cercetări și Amenajări Silvice Ștefănești în vederea folosirii speciilor, cu creștere rapidă, de plop, salcie, salcîm ș.a. pentru obținerea de plantații cu ciclu scurt, de aproximativ doi ani. Este recomandabil să fie utilizate în aceste scopuri terenuri marginale. Astfel, se poate obține o fitomasă silvică rentabilă.

O atenție deosebită se acordă în țara noastră Programului de realizare a biogazului, în instalații de tip industrial, precum și pentru gospodării individuale. Au fost obținute rezultate deosebite în complexele de creștere și îngrășare a porcilor de la Roman, Timișoara și alte județe. Valoarea bioconversiei dejecțiilor animaliere trebuie apreciată și în sensul că, pe lîngă biogaz, reziduul rămas (nămol fermentat) constituie un foarte bun îngrășămînt. Acest fertilizant organic poate fi returnat pe cîmp, economisind astfel, complexul de îngrășăminte chimice minerale, al căror cost de producții este destul de ridicat.

Dacă amintim și acțiunea depoluantă a acestor tehnologii de obținere a biogazului prin folosirea reziduurilor de la fermele de animale, marcăm încă un avantaj al acestor procedee de bioconversie.

Țara noastră dispune de suficiente rezerve de materii prime pentru producerea de biogaz, respectiv de reziduuri organice de natură vegetală și animală, răspîndite pe tot teritoriul ei.

Alt avantaj care pledează pentru extinderea folosirii biogazului și, în gospodării individuale, mai ales

sătești, este faptul că variațiile de sezon, dacă se iau măsuri corespunzătoare, nu afectează producerea biogazului.

Biotehnologiile, în general, sînt o alternativă de perspectivă ; ele constituie, în special, procese tehnologice ce se desfășoară cu consumuri reduse de energie, la presiuni normale și temperaturi relativ scăzute. În același timp, ele reclamă un volum mare de inteligență științifică și tehnică.

În evaluarea eficienței unei tehnologii sau a unui sistem de tehnologii apare noțiunea de bilanț energetic global. Abordarea problemelor energetice trebuie să se facă sistemic.

Această abordare sistemică a problemelor energetice a dus la crearea, din inițiativa președintelui Consiliului Național pentru Știință și Tehnologie, tovarășa academician doctor inginer Elena Ceaușescu, a Institutului de Energetică Chimică și Biochimică.

Acest institut are, în principal, rolul de a aborda tematicile de cercetare prin metode specifice materiei vii sau prin procedee ce presupun cunoașterea căilor complicate de transformare a ei. Se realizează, în felul acesta, studii complexe, fiind implicate pentru rezolvarea diverselor aspecte ale temelor de cercetare, discipline ca biologia, biochimia, fizica, ingineria chimică, matematica.

Într-un viitor apropiat, va fi posibilă folosirea curentă a fibrelor de origine vegetală precum și a proteinelor provenite de la microorganisme unicelulare, utilizate pentru completarea necesarului de proteine de origine vegetală și animală. În acest sens, în cadrul Întreprinderii de Bioproteine de la Curtea de Argeș, au fost obținute rezultate remarcabile în bioconversia n-parafinelor în proteine cu o valoare ridicată, utilizînd tulpini de drojdii.

În cadrul Institutului Central de Chimie a fost brevetat un procedeu de obținere a proteinei din microorganisme unicelulare, din apele reziduale provenite de la fabricile de îngrășăminte chimice.

Se inițiază cercetări de valorificare a diferitelor categorii de fitomasă prin conversie la proteină.

Gama procedeelor biotehnologice bazate pe utilizarea microorganismelor (bacterii, ciuperci) s-a extins și la producția de aminoacizi (în special lizină), destinați furajării.

În ultimul deceniu, s-au intensificat preocupările privind elaborarea tehnologiilor de obținere și aplicare a preparatelor enzimatice (obținute cu ajutorul microorganismelor) în cele mai diferite domenii de activitate.

În urma transpunerii în practică a programului de cercetare privind posibilitatea folosirii surselor neconvenționale de energie, specialiștii români din diverse sectoare de activitate, analizînd periodic rezultatele obținute consideră că acestea se dovedesc a fi încurajatoare. Se remarcă o diversificare continuă a activităților legate de acest domeniu important pentru economia țării. Cercetările fundamentale orientate către crearea de noi biotehnologii sînt în plină căutare.

Generalizînd experiența acumulată în diferitele țări de pe glob, privind problema de care ne-am ocupat în lucrare, putem afirma că există mari speranțe în ameliorarea sistemelor naturale sau în crearea celor artificiale, astfel încît marile probleme ale omenirii legate de necesități energetice sau alimentare să-și găsească rezolvarea cu ajutorul științei și să îmbunătățească, pe această cale, viața oamenilor.

CUPRINS

Introducere 5
Biomasa și energia 10
Surse de biomasă 14
Plante lemnoase 14
Plante ierboase alcooligene 17
Plante acvatice 19
Combustibili direct utilizabili 22
Bioproducția de hidrogen 22
Bioproducția de hidrocarburi 23
Producerea de uleiuri vegetale 25
De la biomasă la energie 26
Ameliorarea fotosintezei 30
Avantajele și limitele biomasei 33
Producerea etanolului 35
Considerații generale 36
Obținerea bioetanolului 39
Microorganismele producătoare de etanol . . . 39
Producerea etanolului de către bacterii 42
Utilizarea culturilor de microorganisme în amestec pentru producerea de etanol 46
Considerații de ordin tehnologic asupra transformării glucidelor în etanol 48
Producerea biogazului 50
Scurt istoric 51


Utilizarea produselor organice în formarea biogazului 52
Microflora fermentației metanice 54
Esența procesului de formare a metanului . . . 56
Căile posibile de formare a metanului 60
Biotehnologia fermentației metanice 62
Instalații pentru producerea biogazului . . . 69
Utilizarea biogazului în diferite țări ale lumii . . 75
Producerea de hidrocarburi de către plante (plante „petrolifere" 81
Enzime și proteine prin bioconversia produșilor fotosintezei 87
Bioconversia amidonului 87
Obținerea preparatelor complexe enzimo-proteice . 92
Bioconversia materialelor ligno-celulozice . . . 94
Fracționarea masei verzi a plantelor în vederea bioconversiei componentelor 95
Microflora masei verzi a plantelor 99
Fermentația spontană a sucurilor vegetale . . 102
Obținerea coagulatelor proteice prin metoda fermentației anaerobe a sucurilor vegetale . . . 105
Evaluarea produșilor bioconversiei masei verzi a plantelor, din punct de vedere biologic și zootehnic 108
Plastice din plante 111
Alternative promițătoare. Argumente. Concluzii . . 114

Redactor : ing. GEORGETA SĂBĂDEANU
Tehnoredactor : EUGENIA CERNEA

Bun de tipar 14.XI.1987. Apărut 1988.
Coli de tipar 4.

Întreprinderea poligrafică „Oltenia" Craiova
str. Mihai Viteazul, nr. 4
Republica Socialistă România
Comanda nr. 246







Editura CERES

Biomasa sau „energia verde" reprezintă termeni utilizaţi pentru a desemna masa plantelor formată prin conversia fotosintetică a energiei solare. Acest imens potenţial de energie inclus în biomasa plantelor pe care omul a folosit-o din totdeauna pentru a se hrăni, îmbrăca, adăposti şi încălzi este reconsiderată în prezent. Ideea, generată de penuria rezervelor de energie de origine „fosilă" – petrolul, cărbunele –, vizează exploatarea biomasei vegetale pentru a furniza combustibili cum sînt alcoolul, metanul, hidrogenul, sau hidrocarburile necesare diferitelor industrii. Cîteva din căile cunoscute sau în curs de cercetare privitoare la valorificarea biomasei pentru producerea de substanţe cu proprietăţi combustibile sînt prezentate în lucrarea de faţă.

Lei 4,75